Au nord du 60e

Étude environnementale nº 1

Impact de l'exploitation sismique sur les populations de rats musqués du delta du Mackenzie

Étude environnementale nº 1

Impact de l'exploitation sismique sur les populations de rats musqués du delta du Mackenzie

David A. Westworth
EPEC Consulting Western Ltd.

Publié avec l'autorisation de
l'hon. J. Hugh Faulkner,
ministre des Affaires indiennes et du Nord,
Ottawa, 1977.
QS-8139-000-FF-A1

©Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1977
Nº de catalogue R71-19/1F
ISBN-0-662-00764-6

Le présent rapport a été préparé en vertu d'un contrat pour le Programme de recherche sur l'utilisation des terres arctiques, de la Direction de l'environnement et des richesses naturelles du Nord, du ministère des Affaires indiennes et du Nord canadien. Les opinions, conclusions et recommandations contenues dans ce rapport sont celles de l'auteur et pas nécessairement celles du Ministère.

TABLE DES MATIÈRES

	Page
LISTE DES TABLEAUX	iii
LISTE DES FIGURES	iv
LISTE DES PHOTOGRAPHIES	v
SOMMAIRE	vi
REMERCIEMENTS	viii
1. INTRODUCTION	1
2. CARACTÈRE DES ACTIVITÉS SISMIQUES	1
2.1 Théorie de l'exploration sismique	1
2.2 Programme de la Compagnie pétrolière impériale Ltée	4
3. CONNAISSANCES ACTUELLES AU SUJET DES RÉPERCUSSIONS SISMIQUES SUR LA FAUNE	5
4. CONDITION DES RATS MUSQUÉS DANS LE DELTA DU MACKENZIE	7
5. DESCRIPTION DE LA RÉGION ÉTUDIÉE	10
6. MÉTHODES	16
6.1 Effets directs	16
6.1.1 Effets des pressions de pointe	16
6.1.2 Examens pathologiques et histologiques	19
6.1.3 Autres dissections	19
6.2 Études de population	20
6.2.1 Piégeage d'animaux vivants	20
6.2.2 Examens de reproduction	21
6.3 Études d'activité	21
6.3.1 Relevés des greniers	21
6.3.2 Surveillance de l'activité des greniers	22
6.3.3 Télémesure	22

Page

7. RÉSULTATS ET DISCUSSION..... 23

7.1 Répercussions directes..... 23

7.1.1 Changements de pression associés aux explosions sismiques..... 23

7.1.2 Expérience 1 - lac E..... 25

7.1.3 Expérience 2 - lac G..... 27

7.1.4 Évaluation de la réaction surrénale..... 31

7.2 Études de population..... 34

7.2.1 Effet de l'activité sismique sur les niveaux de population..... 34

7.2.2 Reproduction..... 38

7.2.3 Répartition selon le sexe..... 38

7.3 Études d'activité..... 40

7.3.1 Incidence de l'abandon des greniers..... 40

7.3.2 Utilisation des greniers..... 40

7.3.3 Activité de rats musqués individuels..... 40

7.4 Autres effets..... 45

8. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS..... 46

9. NÉCESSITÉ DE POURSUIVRE LES ÉTUDES..... 47

10. BIBLIOGRAPHIE..... 49

PHOTOGRAPHIES..... 52

APPENDICE I Sommaire comparatif des renseignements météorologiques sur Inuvik..... 59

APPENDICE II Calcul de l'importance de la population sur les quatre lacs étudiés..... 60

APPENDICE III Cartes des lacs étudiés..... 64

LISTE DES TABLEAUX

		Page
Tableau 1	Composition des échantillons de greniers prélevés sur les lacs de la région étudiée.....	14
Tableau 2	Sommaire des données sur la profondeur de l'eau, la profondeur de la neige et l'épaisseur de la glace pour les lacs de la région étudiée, avril 1976.....	15
Tableau 3	Changements de pression d'eau enregistrés au cours des explosions expérimentales sur les lacs E et G.....	24
Tableau 4	Résultats de l'évaluation histologique des glandes surrénales.....	33
Tableau 5	Effets de l'activité sismique sur le poids des glandes surrénales.....	35
Tableau 6	Effet de l'activité sismique sur l'importance des populations.....	37
Tableau 7	Rendement reproductif des rats musqués prélevés dans les lacs de la région étudiée en juin 1976...	39
Tableau 8	Répartition selon le sexe entre les lacs expérimentaux et les lacs de contrôle.....	41
Tableau 9	Sommaire des résultats fournis par les études sur l'activité des greniers.....	42
Tableau 10	Relation entre la proportion de greniers actifs et la distance des lignes sismiques.....	43
Tableau 11	Calcul des niveaux de population sur les lacs E et E_1 par la formule Schnabel.....	61
Tableau 12	Calcul des niveaux de population sur les lacs F et F_1 par la formule Schnabel.....	62

LISTE DES FIGURES

		Page
Figure 1	Cadre de la région étudiée	12
Figure 2	Tracé des lignes sismiques par rapport aux lacs étudiés	13
Figure 3	Position des appareils d'enregistrement sismique utilisés lors des explosions expérimentales sur le lac E	17
Figure 4	Position des appareils d'enregistrement sismique utilisés lors des explosions expérimentales sur le lac G	18
Figure 5	Répartition de fréquence des catégories de poids des glandes surrénales	36
Figure 6	Calcul de la fréquence d'utilisation des greniers par les rats musqués avant et après l'explosion expérimentale sur le lac G	44
Figure 7	Lac B	65
Figure 8	Lac B_1	66
Figure 9	Lac D	67
Figure 10	Lac D_1	68
Figure 11	Lac E	69
Figure 12	Lac E_1	70
Figure 13	Lac F	71
Figure 14	Lac F_1	72
Figure 15	Lac G et H	73
Figure 16	Lac G_1	74

LISTE DES PHOTOGRAPHIES

		Page
Photo 1	Les lacs de la région étudiée sont habituellement petits et peu profonds	53
Photo 2	La végétation des rives se compose principalement d'*Alnus*, de *Salix* et d'herbes	53
Photo 3	Instruments utilisés pour mesurer les changements de pression dans l'eau (hydrophones)	54
Photo 4	Rats musqués placés dans un terrier riverain pour déterminer les effets pathologiques des explosions sismiques	54
Photo 5	Des animaux furent submergés à un mètre sous la surface de la glace pendant les explosions expérimentales	55
Photo 6	Les pièges servant à capturer les animaux vivants dans les greniers étaient isolés au moyen de mousse de styrène et recouverts d'une épaisse couche de neige	55
Photo 7	Une boîte de contreplaqué chauffée fut utilisée pour améliorer l'environnement immédiat du rat musqué pendant le baguage	56
Photo 8	Section histologique d'une glande surrénale d'un animal non stressé (120X)	56
Photo 9	Section histologique d'une glande surrénale d'un rat musqué stressé (120X)	57
Photo 10	Utérus de rat musqué avec deux embryons resorbés	57
Photo 11	Terrier riverain actif situé sur le tracé d'une ligne sismique	58
Photo 12	Le sol et les arbustes sont virtuellement intacts sur le tracé d'anciennes lignes sismiques utilisées de nouveau deux mois avant la prise de cette photo	58

SOMMAIRE

La recherche, commencée en mars 1976, visait à déterminer si l'exploration sismique est préjudiciable aux populations de rats musqués. La région étudiée se trouve à une latitude de 68°30'N et à une longitude de 134°30'O, près du centre du delta du Mackenzie.

Trois principaux types d'études ont été entreprises, notamment: (1) des expériences sur les effets directs (blessures et stress causés par des explosions), (2) des études de population (changements dans le nombre et la reproduction), et (3) des études d'activité (abandon de greniers et changement de comportement).

Le relevé des pressions de pointe, dans le cadre des études sur les effets directs, fut compliqué par des problèmes d'enregistrement, mais les changements de pression notés à la suite de l'explosion de charges de 11 kg et de 22 kg étaient bien inférieurs aux pressions mortelles rapportées dans la documentation. Après avoir procédé à des examens pour relever des indices de blessure ou de stress, les rats musqués furent exposés à des explosions expérimentales dans les terriers riverains simulés, des greniers et sous l'eau, à diverses distances du point d'explosion. Les examens pathologiques et histologiques après traitement révèlent que les explosions ont eu des effets minimes, et qu'il s'agissait surtout de dommages mineurs à l'oreille moyenne et aux poumons. La plupart des animaux qui portaient des traces de l'explosion se trouvaient dans des terriers riverains à 6m des trous de mine ou étaient submergés dans l'eau à 15m de ces trous.

Le poids des glandes surrénales et les sections histologiques de glandes furent examinés en vue d'obtenir des renseignements concernant le stress immédiat et à long terme suscité par l'explosion. Il n'y avait pas de corrélations évidentes entre les indices utilisés. Il faut donc conclure que les animaux ne manifestaient aucun stress à court ou à long termes, ou encore que les méthodes utilisées n'étaient pas appropriées pour mesurer ces facteurs.

Les résultats des procédures de piégeage d'animaux, vivants et morts, pour déterminer les niveaux de population pré-sismiques et post-sismiques, furent analysés en utilisant la méthode Schnabel. Aucun changement significatif de population n'a été observé tant dans les lacs où l'on procéda aux expériences que dans les lacs de contrôle.

En juin, le rendement reproductif des femelles recueillies dans les lacs où l'on procéda aux expériences a été comparé à celui des femelles des lacs de contrôle. On n'a observé aucune différence significative entre les deux groupes pour ce qui est 1) de la proportion des femelles gravides, 2) du nombre des embryons, ou 3) de l'incidence de résorption d'embryons. L'examen des canaux de reproduction révéla une portée moyenne anticipée de 8,06.

Aucune réduction importante du nombre de greniers actifs ne fut observée par suite des activités d'exploration sismique, tant dans les lacs où l'on procéda à des expériences que dans les lacs de contrôle. Toutefois, des différences significatives furent remarquées dans la proportion de greniers actifs à diverses distances des lignes sismiques qui franchissaient les lacs. La proportion de greniers actifs était beaucoup plus élevée au-delà de 180 m des lignes ($p<0,01$).

La fréquentation des greniers fut observée au moyen de sondes électriques. Les données révèlent que même si les rats musqués ont continué à visiter les greniers surveillés après l'explosion, il y eut une réduction de 53 p.100 dans le nombre de visites par période de 24 heures.

Même si un petit nombre de greniers furent détruits par inadvertance à cause du passage de véhicules lourds sur les lacs, les autres activités associées à l'exploration sismique n'ont pas semblé nuire au bien-être des rats musqués. On ignore toutefois l'effet du bruit sur le comportement des rats musqués exposés aux explosions.

REMERCIEMENTS

Le chercheur principal, M. D.A. Westworth, et les chercheurs de l'EPEC Consulting Western Ltd. (I.D. Marr, A.P. Andreychuk et L.E. Watson) désirent remercier les personnes et les organismes suivants pour la coopération et l'aide fournies au cours de cette étude:

Le Programme de recherche sur l'utilisation des terres arctiques du MAINC qui a parrainé cette étude.

La Compagnie pétrolière impériale Ltée qui a fourni des services de transport aérien entre Inuvik et Edmonton, de même que des installations sur le terrain. MM. John Cooper, coordonnateur de l'environnement, et Al. Stewart, surveillant des opérations sismiques, ont participé à l'organisation de l'étude, et M. Jack Hogg et le personnel technique de la compagnie ont facilité l'interprétation des sismographes.

Le Service des terres et forêts du Nord-Ouest (ministère des Affaires indiennes et du Nord canadien), notamment, MM. Ben Veldhoen et Bruce Fulcher qui nous ont assuré les services de surveillants autochtones, fourni des installations à Inuvik et prêté une motoneige, du matériel et un hélicoptère.

M. Vernon Hawley, chercheur scientifique au Service canadien de la faune, qui nous a donné des suggestions et des conseils lors de la conception de l'étude, et qui nous a prêté divers appareils.

Le Dr Byron Beck, pathologiste vétérinaire au Laboratoire vétérinaire provincial de l'Alberta, qui a effectué et surveillé les examens pathologiques des animaux sur le terrain, et qui a préparé et analysé les spécimens histologiques. M. Brian Morrison, également du Laboratoire vétérinaire provincial, qui a aidé à la préparation des spécimens histologiques.

M. Mike Burke, ingénieur en électricité au département des sciences physiques de l'Université de l'Alberta, qui nous a aidés à interpréter la théorie de la sismographie.

Mme Barbara Chernick, statisticienne au département de zoologie de l'Université de l'Alberta, qui a participé à l'analyse des données.

M. John Ostrich, du Laboratoire de recherche scientifique d'Inuvik, qui nous a fourni des bureaux et des laboratoires.

M. Jim Henderson et ses équipes sismiques qui ont procédé au forage de trous spéciaux et à la mise en place des charges et qui nous ont fourni un appui logistique.

M. Chris Cuddy, gestionnaire de l'utilisation des terres au ministère des Affaires indiennes et du Nord canadien, à Yellowknife, qui a assuré la liaison entre les organismes intéressés.

Enfin, nous aimerions remercier Isaac et Sadie Simon de même que Miller Rogers qui nous ont aidés et nous ont accordé l'hospitalité au cours de cette étude.

1. INTRODUCTION

Ce rapport présente les résultats de la première année d'étude concernant l'impact des travaux sismiques sur les populations de rats musqués (Ondatra zibethicus spatulatus) dans le delta du Mackenzie. Les piégeurs de la région avaient exprimé à certaines reprises l'inquiétude que les activités associées à l'exploration sismique soient préjudiciables aux rats musqués et que les niveaux de population soient touchés. Le Programme de recherche sur l'utilisation des terres arctiques (RUTA) a commandé cette étude afin d'approfondir cette question.

L'étude visait donc principalement à définir les répercussions de l'exploration sismique sur les populations de rats musqués dans le delta du Mackenzie et plus précisément à déterminer:

(a) si les explosions sismiques blessent ou tuent les rats musqués directement,

(b) si les explosions sismiques ou les activités connexes provoquent l'abandon ou la destruction des greniers,

(c) l'effet des explosions sismiques sur les activités normales des rats musqués,

(d) si les activités sismiques contribuent à modifier ou à réduire la reproduction.

L'étude fut amorcée au milieu de l'hiver 1976. Une rencontre préliminaire de tous les organismes et personnes qui devaient coopérer au projet fut prévue pour le mois de février; lors de cette rencontre, les intéressés se mirent d'accord sur un format et sur un échéancier. La première étape d'un programme de recherche sur le terrain commença en mars et se poursuivit jusqu'au 3 mai. La deuxième étape s'étendit du 4 au 25 juin. Des dissections de même que des travaux supplémentaires en laboratoire se poursuivirent tout au long de l'étude.

2. CARACTÈRE DES ACTIVITÉS SISMIQUES

2.1 Théorie de l'exploration sismique

L'exploration sismique, basée sur les principes de la sismologie, est une méthode qui permet aux géophysiciens de déterminer l'emplacement des formations géologiques susceptibles de renfermer du pétrole ou du gaz. Une série contrôlée d'explosions à la surface du sol fournit l'énergie nécessaire pour créer des vagues élastiques, lesquelles se déplacent vers le bas dans toutes les directions,

conformément à des lois physiques semblables à celles de la théorie optique. Ces vagues sont reflétées et réfléchies aux points de contact avec des couches de roc, en profondeur, et reviennent à la surface du sol où elles sont enregistrées. Des géophones mesurent la vélocité des vagues qui sont réverbérées vers la surface, et transforment ces impulsions en énergie électrique qui est ensuite dirigée vers un sismographe. L'interprétation de l'enregistrement sismographique fournit une image des formations géologiques qui se trouvent sous la surface.

Le type d'explosion sismique le plus utilisé par les compagnies d'exploration dans le delta du Mackenzie est celui de la ligne unique, où l'enregistrement est provoqué par une ligne unique de trous de mine, dont les charges sont amorcées l'une après l'autre, à intervalles réguliers. La profondeur, l'intervalle et la quantité d'explosifs varient selon les conditions géologiques à explorer et la compagnie d'exploration en cause.

Deux types de vagues élastiques sont générées par une explosion sismique et transmises par un matériau solide. Les vagues longitudinales, connues comme vagues primaires (P) ou de compression, se déplacent plus rapidement que le deuxième genre de vagues, nommées vagues transversales ou de cisaillement (S). La fréquence des vagues sismiques P et S varie entre 15 c/s et 100 c/s (Paranis, 1966). Des combinaisons de vagues P et S peuvent également être créées par la réflexion et la réfraction de vagues P et S aux points de rencontre de différents matériaux. La vélocité des vagues P et S varie selon la densité et d'autres caractéristiques du matériau, mais elle demeure habituellement constante, ce qui permet une interprétation des strates géologiques. Toutefois, les fluides comme l'air et l'eau ne possèdent pas de force de cisaillement et ne peuvent donc pas transmettre de vagues S.

La propagation des vagues élastiques et les forces résultantes sont la fonction d'un certain nombre de phénomènes interdépendants, dont le plus important est l'amplitude (pression de pointe), la forme de la vague de compression et la raréfaction.

(a) Dans un matériau homogène, la pression de pointe est soumise à une dégénérescence exponentielle selon la distance, laquelle dépend du type de charge et de son importance (poids). A une distance donnée d'une explosion, les pressions de pointe s'accroissent selon l'importance de la charge, mais l'accroissement se fait seulement en proportion du tiers de la puissance de la charge. Ainsi, une charge de 5 kg produit le tiers de la pression d'une charge de 125 kg. Le rythme auquel la

pression de pointe diminue selon la distance varie selon le matériau. Hubbs et Rechnitzer (1952) rapportent que dans l'eau libre la pression de pointe d'une explosion de dynamite diminue inversement à la première puissance de la distance. Ils ont également démontré que lorsque l'explosif est placé sous le fond, la diminution d'énergie est beaucoup plus forte; en utilisant une charge de dynamite de 5 lb, ils ont constaté que la pression diminuait inversement, à raison d'une puissance de 2,6 de la distance. Il est également connu que les vagues à haute fréquence s'atténuent beaucoup plus rapidement que les vagues à basse fréquence.

(b) Une vague de compression est suscitée par une évolution d'énergie importante et rapide. La forme de la vague de compression est déterminée par le type d'explosif utilisé. Les explosifs puissants comme la dynamite ou le Géogel 60% explosent presque instantanément et produisent une vague de compression ayant un front de choc très abrupt. Lorsqu'elles se propagent dans l'eau, ces vagues suscitent des changements de pression très rapide. Par contre, les explosifs faibles, comme la poudre noire, brûlent plus rapidement et ne produisent pas une vague de choc avec un front abrupt.

(c) L'impédance acoustique d'un matériau s'exprime par la fonction $w = p \times V$, où w représente l'impédance acoustique, p la densité du matériau et V la vélocité de la vague qui se propage. Lorsque la vague de compression positive initiale d'une source d'énergie est réfléchie à la surface d'un matériau ayant une impédance acoustique plus petite, comme c'est le cas pour le point de rencontre de l'eau et de l'air, la vague réfléchie devient négative par suite du changement de phase. On parle de raréfaction lorsqu'on veut désigner l'impulsion négative de pression. Étant donné ce phénomène, on peut observer des changements de pression plus importants à la surface de l'eau; et pour tout point en dessous de cette surface, on doit tenir compte de la différence dans l'amplitude de la vague et le moment de son arrivée. Cole (1948) constatait que les eaux naturelles ne peuvent supporter de pressions négatives supérieures à une atmosphère, à cause de la dissipation de l'énergie par cavitation. La propagation vers le bas de la vague de pression négative dans l'eau s'atténue rapidement avec la distance étant donné la pression hydrostatique croissante.

La nature du fond du lac peut également affecter les vagues de pression dans l'eau. Un fond qui constitue une limite rigide peut réfléchir la pression. Le degré auquel la pression résultante s'accroît

et sa durée dépendent de la nature du matériau qui constitue le fond. Rasmussen (1967, cité par Falk et Lawrence, 1973) constata lors d'expériences sur les effets des explosions sous-marines sur la vie marine, que la pression mortelle s'accroît lorsqu'une grande source d'énergie est réfléchie vers le haut, à partir d'une charge qui explose au-dessus d'une couche solide.

Lorsque des explosions sismiques se produisent près d'un plan d'eau recouvert de glace, des pressions additionnelles peuvent être causées par les vagues de courbure de la glace qui peuvent susciter une ondulation de la surface de glace. Cela peut se traduire par des conditions alternatives de pression accrue au cours de la compression, suivies par des changements de pression négative pendant la raréfaction.

Certaines données récentes concernant les pressions d'eau causées par des explosions sismiques ont été rapportées par des compagnies pétrolières à la suite de travaux sismiques effectués au large des côtes du delta du Mackenzie. Les résultats de ces expériences indiquent d'importantes fluctuations dans les pressions d'eau enregistrées. Des expériences de la Gulf Oil Canada Ltd. ont révélé une pression d'eau de 3 lb/po^2 lorsqu'une charge de 10 lb de Géogel 60% était amorçée dans un trou de 75 pi sous le fond d'un lac et lorsque la profondeur de l'eau et l'épaisseur de la glace étaient respectivement de six et de quatre pieds. Toutefois, dans des conditions semblables pour la profondeur de l'eau et l'épaisseur de la glace, une expérience de la compagnie Sun Oil dans la région de la baie Kugmallit a révélé qu'un explosif de cinq livres amorcé dans un trou à 60 pi sous la surface de glace produisait une pression de pointe de 40 lb/po^2 dans un rayon d'environ 225 pi du trou. Les chercheurs suggèrent que des facteurs comme l'épaisseur de la glace, la profondeur de l'eau, le matériau entourant la charge et le type de source énergétique utilisé, peuvent influencer la pression de pointe créée (Service des pêches et de la mer, 1975).

2.2 Programme de la Compagnie pétrolière impériale Ltée

Le programme sismique entrepris par la Compagnie pétrolière impériale Ltée fut amorcé le 31 mars 1976 et s'est terminé le 10 avril 1976. Les opérations sismiques dans le delta se terminent habituellement avant la troisième semaine d'avril, étant donné la détérioration des chemins de glace sur les rivières.

Un total d'environ 53 km de lignes sismiques furent amorçées et, à l'exception de 13 km, toutes se trouvaient le long de lignes existantes. Les lignes nouvelles, tout comme les lignes existantes, avaient une largeur d'environ 6 m et étaient orientées en fonction de données géodésiques. On préparait le terrain au moyen d'un véhicule à chenilles qui passait plusieurs fois très lentement sur le tracé de

la ligne pour bien tasser la neige. Toute la végétation se trouvait ainsi enfouie sous la neige tassée. Lorsque les lignes sismiques traversaient les rives abruptes de lacs et de canaux, des rampes de neige étaient construites. Les rampes sur les canaux étaient démolies une fois les travaux sismiques terminés. Les trous de mine, d'un diamètre de 10 cm, avaient une profondeur de 18 m et les forages se faisaient à intervalles de 122 m. Les règlements ne permettent pas les explosions sismiques sur les lacs ou à moins de 12 m de leurs rives. Des charges de 6,8 kg de Géogel 60% (un explosif à haut sommet) étaient déposées dans les trous. Des géophones Mark-Land étaient placés sur la neige compressée à intervalles de 30,5 m pour enregistrer l'énergie réfléchie. Les unités d'enregistrement sismique pouvaient capter un éventail de fréquences de 5 à 100 c/s.

3. CONNAISSANCES ACTUELLES AU SUJET DES RÉPERCUSSIONS SISMIQUES SUR LA FAUNE

Nombre de renseignements ont été recueillis ces dernières années concernant les effets des explosions sous-marines sur la faune marine. (Falk et Lawrence 1973, Paterson et Turner 1968, et Kearns et Boyd 1965). Les constatations de ces chercheurs et d'autres scientifiques indiquent que les effets de l'explosion sont plus sérieux sur les espèces dotées de vessies natatoires. Les blessures infligées aux poissons par des explosions sous-marines variant de 0,6 kg à 554 kg d'explosifs puissants comprennent notamment des ruptures ou des hémorragies des vessies natatoires, de la veine abdominale, de la rate, du foie, du coeur et des gonades arrivées à maturité. Une hypothèse veut que les explosions sous-marines à haute vélocité produisent des changements rapides de pression hydrostatique qui causent la rupture des viscères. Les explosions à faible vélocité ont des effets moins sérieux.

Fitch et Young (1948, cité par Falk et Lawrence 1973) ont constaté que certaines espèces de poissons ayant des vessies natatoires à parois épaisses et un corps cylindrique résistent mieux à la pression des chocs que les espèces comprimées latéralement dont les parois des nageoires sont minces. Des expériences faites par Hubbs et Rechnitzer (1952) ont révélé que les poissons étaient souvent tués par des charges aussi faibles que 0,6 kg, et qu'une charge de 2,3 kg (5.0 lb) enfouie à 19,8m (65 pi) sous le fond de la mer causait la mort de poissons expérimentaux placés tant au fond que près de la surface de l'eau. Ils ont également constaté que le poisson est très sensible aux pressions négatives (inférieures à une atmosphère) suscitées par la raréfaction près de la surface de l'eau. En plus des hémorragies, de l'éclatement des vessies d'air et de la rupture des viscères, la pression négative peut causer des blessures ou la mort par la formation de bulles de gaz dans les liquides du corps. La libération soudaine de gaz dissous peut causer la rupture des parois de vaisseaux sanguins non protégés. Ils conclurent que le niveau mortel des pressions de pointe causées par la dynamite variait de 40 à 70 lb/po^2.

Rasmussen (1967, cité par Falk et Lawrence 1973) a démontré que les effets des changements de pression sur le poisson dépendaient beaucoup de l'âge des spécimens touchés. Il constata que les jeunes harengs et les saumoneaux résistaient aux changements de pression, mais qu'à l'âge de trois ou six mois, ces mêmes espèces étaient tuées par des explosions supérieures à 2,7 lb/po^2. La résistance des saumoneaux était attribuable au fait que leurs vessies natatoires n'étaient pas encore développées.

On possède beaucoup moins de renseignements sur les tolérances des mammifères aux changements de pression causés par les explosions. Rausch (1973) a décrit les effets du test Cannikin sur certains animaux marins près des côtes de l'île Amchitka. On constata que des pressions de pointe variant de 100 à 300 lb/po^2 étaient mortelles pour les loutres marines et les phoques communs. Des dissections révélèrent que les organes thoraciques, le système nerveux central et l'oreille moyenne étaient très gravement touchés. On supposa que ces blessures étaient causées par un pouls de pression s'accroissant relativement lentement, suivi d'une phase de pression négative pour atteindre une cavitation, avant de revenir au niveau de pression ambiant originel.

Dans une évaluation préliminaire de l'impact des activités sismiques dans le delta du Mackenzie, Martin (1973) n'a pu établir un lien entre les activités sismiques et les changements de population chez les rats musqués.

4. CONDITION DES RATS MUSQUÉS DANS LE DELTA DU MACKENZIE

Le rat musqué est un rongeur semi-aquatique qu'on retrouve partout en Amérique du Nord où il y a des habitats aquatiques appropriés. Les pressions d'adaptation varient beaucoup sur ce vaste territoire, et il y a donc des sous-espèces et des populations qui diffèrent tant sur le plan de la morphologie que sur le plan du comportement, selon les conditions locales et les caractéristiques de l'habitat. Les principaux facteurs variables locaux pour le rat musqué du Nord-Ouest (Ondatra zibethicus spatulatus), dans les régions arctiques et subarctiques du Canada et de l'Alaska, comprennent notamment le climat et les saisons, le type d'habitat et les inondations de printemps.

La plupart des animaux qui occupent des milieux arctiques sont morphologiquement adaptés aux conditions climatiques rigoureuses par une tendance à de fortes dimensions, donc moins de surface par unité de poids du corps (règle de Bergmann). Toutefois, le rat musqué du Nord-Ouest est petit, et les spécimens de la région du delta du Mackenzie sont les plus petits spécimens de cette race (Stevens, 1955). L'hypothèse formulée pour expliquer cette exception est la suivante: en occupant un habitat moins favorable, cette sous-espèce, notamment dans le delta du Mackenzie, ne réalise pas son plein potentiel de croissance. Les conditions défavorables de l'habitat arctique sont principalement causées par la disponibilité restreinte et la pauvre qualité des sources d'approvisionnement.

Les rats musqués ont longtemps été considérés comme des animaux versatiles sur le plan de l'alimentation, qui utilisent une variété de sources alimentaires. Lorsque la nourriture est abondante, il a une préférence marquée pour certains types et parties de plantes, mais lorsque la glace d'hiver réduit la disponibilité de la plupart des plantes, les animaux peuvent consommer ce qu'il strouvent, même s'il s'agit d'un aliment de faible priorité. Dans le delta, des différences saisonnières marquées de diète se produisent par rapport à l'espèce émergente choisie l'été; l'hiver, lorsque cette espèce n'est pas disponible à cause de la glace, le rat musqué la remplace par les espèces submergées.

Même si les rats musqués des régions plus tempérées peuvent occuper des abris, faits de végétation de même que des réseaux de terriers dans des berges abruptes, les rats musqués du delta sont restreints à cette dernière forme de résidence, étant donné le manque de végétation émergent et la forte épaisseur de la glace. Les petits naissent dans ces "terriers riverains", et l'hiver, les animaux s'éloignent de ceux-ci à la nage, en étendant leur rayon de fourrage aux moyens de "greniers", qui sont des stations d'alimentation creuses construites sur la glace et accessibles seulement par un trou dans la glace ("trou de plongée"). Un grand nombre de ces greniers sont construits l'automne, et plusieurs sont abandonnés par la suite au cours de l'hiver à mesure que les trous de plongée gèlent.

Le rat musqué a besoin de lacs relativement profonds pour passer l'hiver; par contre, l'été, il ne lui faut qu'une berge pour son terrier, une source alimentaire, et suffisamment d'eau pour couvrir l'entrée du terrier. Etant donné que la glace atteint une épaisseur d'environ un mètre, et que le rat musqué doit pouvoir se déplacer en eau libre au-delà de cette profondeur pour avoir accès aux sources d'aliments, les lacs dont la profondeur est inférieure à un mètre sont considérés comme trop peu profonds pour recevoir des populations d'hiver.

Avec l'amorce du dégel et de la période de reproduction, un dispersement général se produit lorsque les jeunes adultes abandonnent l'habitat d'hiver pour chercher des territoires de reproduction. A ce moment-là, l'habitat utilisable est grand et les couples de même que leurs jeunes occupent virtuellement tous les cours d'eau. Cependant, à mesure que l'hiver approche et que les cours d'eau peu profonds sont menacés par l'assèchement et le gel, un nouveau mouvement se produit vers les lacs d'hivernement plus profonds. Etant donné que ces lacs ne peuvent supporter un aussi grand nombre de rats musqués, une mortalité importante se produit au cours des premières semaines de l'hiver. Cette mortalité peut représenter jusqu'à 50 p.100 de l'accroissement annuel des jeunes. (Hawley et Hawley 1975).

Les ajustements de comportement à l'environnement arctique rigoureux comme ceux associés à l'utilisation des terriers dans les berges, à la construction des greniers, aux changements de diète et aux mouvements saisonniers, sont importants pour la survie de l'espèce sous ces latitudes. Les adaptations contrôlées génétiquement comme celles associées à la reproduction sont également aussi importantes. Dans le delta l'été dure environ quatre mois; pendant cette période où les glaces sont absentes, la copulation et la mise bas doivent se faire, et les jeunes animaux doivent être amenés à un stade de maturité suffisant pour leur permettre de passer l'hiver.

Les mâles semblent entrer en état de reproduction plus tôt et plus graduellement que les femelles. Dans le delta du Mackenzie, Stevens (1955) observa des spermatozoïdes viables dès le 23 mars, et la plupart des mâles étaient en pleine condition de reproduction en avril. Les femelles toutefois ne semblent pas entrer en état de reproduction avant la mi-avril, et elles ne sont habituellement pas prêtes à commencer la reproduction avant mai. Tant chez les mâles que chez les femelles, les adultes approchent des conditions de reproduction plus rapidement que les jeunes. L'amorce de l'activité de reproduction correspond au bris des glaces du printemps et aux inondations qui se produisent habituellement au début de juin. Après une période de gestation de quatre semaines, les portées commencent à apparaître à la mi-juin, quoique la plupart des naissances n'ait pas lieu avant le début de juillet (Stevens 1955). Errington (1962) a examiné les observations

de plusieurs chercheurs aux Etats-Unis qui ont constaté que les femelles des Etats du Centre et du Sud ont souvent quatre portées par année et même à l'occasion cinq portées. Même aussi loin au nord que dans le delta des rivières de la Paix et Athabasca, Westworth (1974) observa que 44 p.100 des femelles de la population étudiée avaient trois portées par année. Stevens (1955) constata toutefois que la norme était d'une portée par année et que deux portées étaient un phénomène modérément commun dans la région d'Aklavik.

Le désavantage écologique du petit nombre de portées est partiellement compensé par une tendance accrue vers d'importantes portées dans les latitudes septentrionales. Dans les États du Sud, la porté moyenne est d'environ 4 (Errington 1962), alors que dans le delta du Mackenzie, Stevens enregistra une moyenne de 8,3 , et Hawley et Hawley (1975) observa des moyennes se situant entre 7,25 (en 1963) et 9 (en 1970) jeunes par portée.

Alors que les rigueurs climatiques de l'environnement septentrional ont une influence importante, d'autres facteurs décimatoires ont tendance à avoir une importance moindre que dans les régions situées plus au sud. Ainsi, les densités de population inférieures dans le delta semblent être associées à une tendance réduite vers une intolérance intra-spécifique. Les luttes, même si elles sont communes pendant la saison de reproduction, sont de courte durée et par la suite, seulement des phénomènes isolés (Stevens 1955). En outre, le pillage, (autre que le piégeage pour la fourrure) est très faible,ce qui explique la proportion insignifiante de la mortalité totale. Les maladies et les parasites sont également habituellement faibles. Cela peut être en partie le résultat de l'effet nettoyant des inondations au printemps (Stevens 1955) et des faibles densités de populations qui réduisent la propagation des maladies.

5 DESCRIPTION DE LA RÉGION ÉTUDIÉE

Les études ont été concentrées sur 14 lacs répartis dans la région du confluent des chenaux Napoiak et Taylor, à une latitude de 68°30'N et à une longitude de 134°30'O (figure 1). La région étudiée se trouvait dans les territoires de piégeage traditionnels d'Isaac Simons et de Big Jim Rogers. La distance la plus longue entre deux lacs était de 11,12 km. L'orientation et le tracé des lignes sismiques par rapport aux lacs étudiés sont indiqués à la figure 2. La région étudiée se trouve dans la moitié inférieure du delta du Mackenzie, à l'intérieur de la région physiographique des plaines côtières arctiques (Douglas 1969). Le relief local est peu accentué et comprend surtout des levées de chenaux, des berges de même que des lits de chenaux intermittents. Les sols sont presque tous d'origine alluvionnaire, variant de gros graviers le long des chenaux aux sédiments fins et aux argiles entraînés par les eaux d'inondation. Il peut également s'y trouver des sols organiques comme ceux qui sont associés aux marais de sphaigne.

La végétation terrestre ressemble à celle décrite par MacKay (1963) pour les peuplements épinettes-saules-aulnes-peupliers du delta du Mackenzie. Les berges des chenaux sont recouvertes de laîches (Carex spp.), d'herbes, de prêles (Equisetum spp.) et de petits saules (Salix spp.). Des bosquets denses d'aulne (Alnus crispa) et de saules poussent sur le sommet des levées. L'épinette blanche (Picea glauca) est commune dans la région (photo 1) et elle est accompagnée d'un sous-bois touffu de saules, d'aulnes et d'herbes. Les lacs sont entourés de bosquets denses de saules et d'aulnes qui dominent une végétation d'herbes, de laîches et de prêles (photo 2). Les régions basses et marécageuses couvertes de plantes émergentes n'étaient pas fréquentes. Une analyse de la composition des greniers fut effectuée pour déterminer les différences qualitatives de la végétation aquatique d'un lac à l'autre. Même s'il y avait des différences, il ne semblait pas exister de corrélation selon l'importance ou la profondeur du lac, ou encore la présence d'inondation au printemps (tableau 1). Le potamogeton était abondant dans tous les lacs et dans presque tous les échantillons. Des spécimens de la famille des graminées et des characées étaient également très communs, tout comme le Myriophyllum.

Même si la forme et l'importance des lacs étudiés variaient considérablement, d'autres caractéristiques se ressemblaient beaucoup. Seulement deux lacs étudiés subirent des inondations substantielles; les autres furent gonflés seulement par le ruissellement local. En règle générale, les lacs ont des berges abruptes, ce qui est produit par l'action thermokarstique autour de leurs périmètres; l'affaissement des berges est un phénomène conséquent. L'épaisseur de la glace ne variait pas beaucoup d'un lac à l'autre, mais la profondeur de l'eau sous la glace était cependant très différente (tableau 2). Les légères

différences dans la profondeur de la neige d'un lac à l'autre semblaient ne pas influencer beaucoup l'épaisseur de la glace.

Les renseignements météorologiques indiquent que le régime de 1976 se comparait à ceux des années antérieures (appendice 1). Les données indiquent que la précipitation de printemps est très variable, mais il ne semble pas que des conditions climatiques inhabituelles influencèrent les résultats de la présente étude.

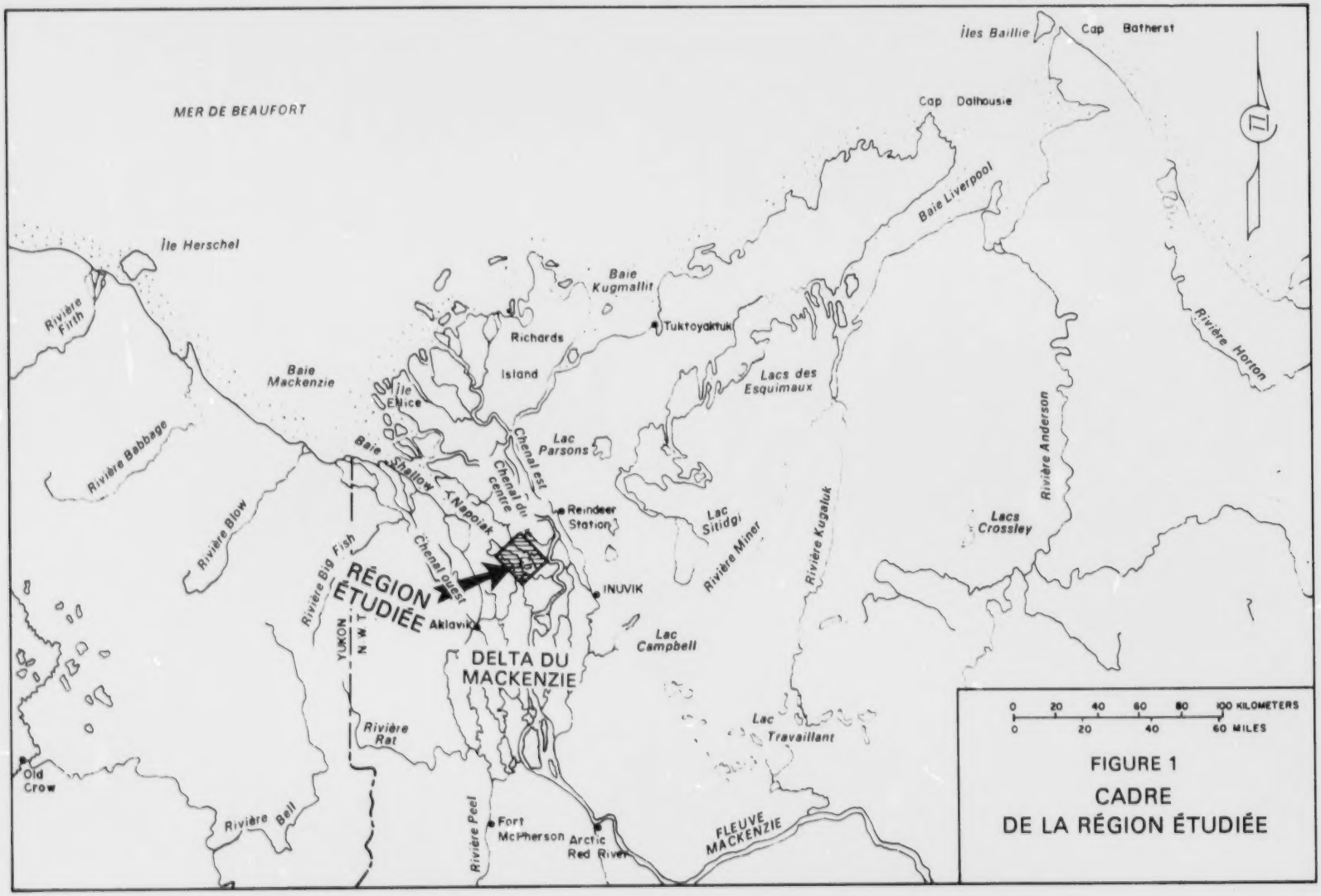


FIGURE 1

CADRE
DE LA RÉGION ÉTUDIÉE

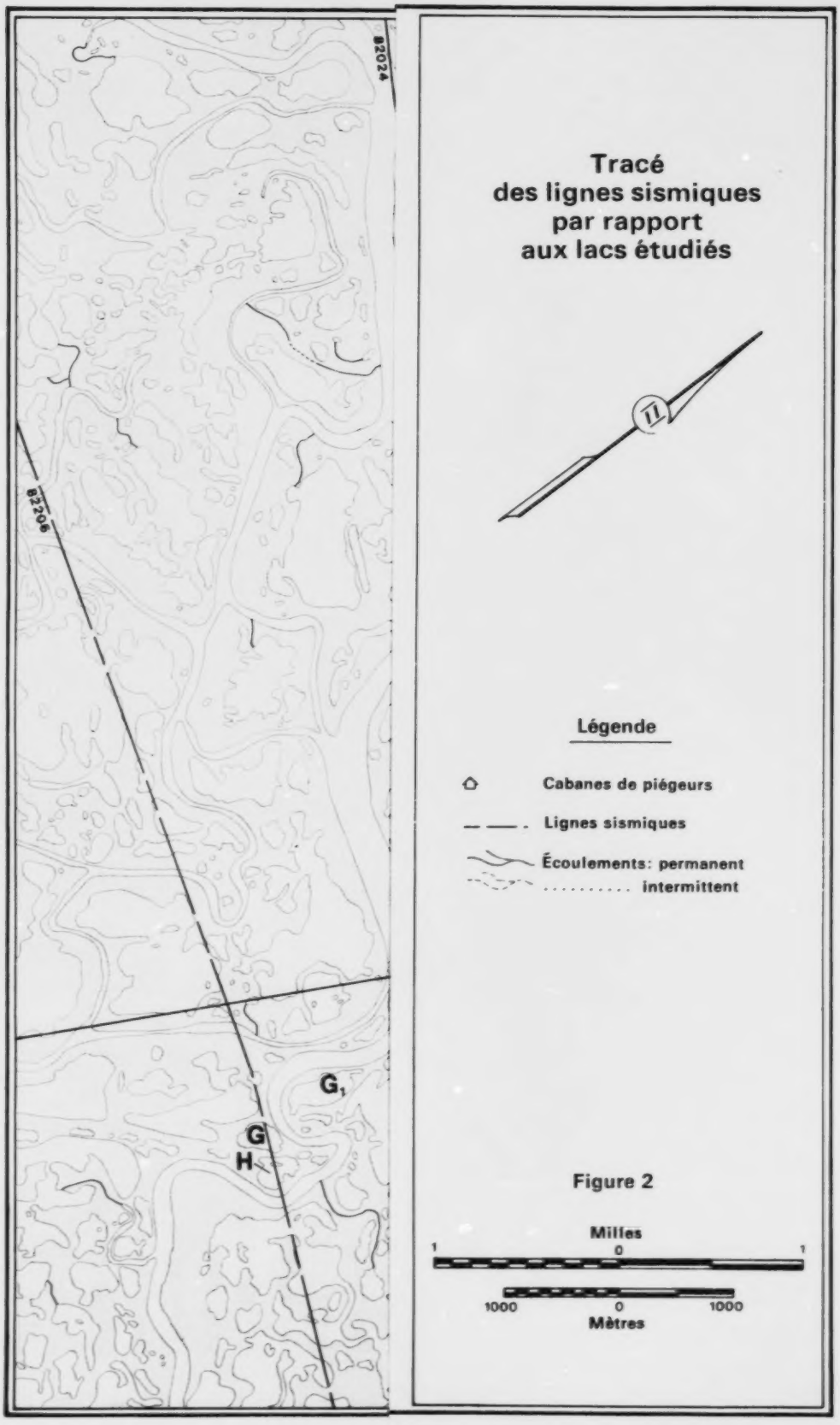
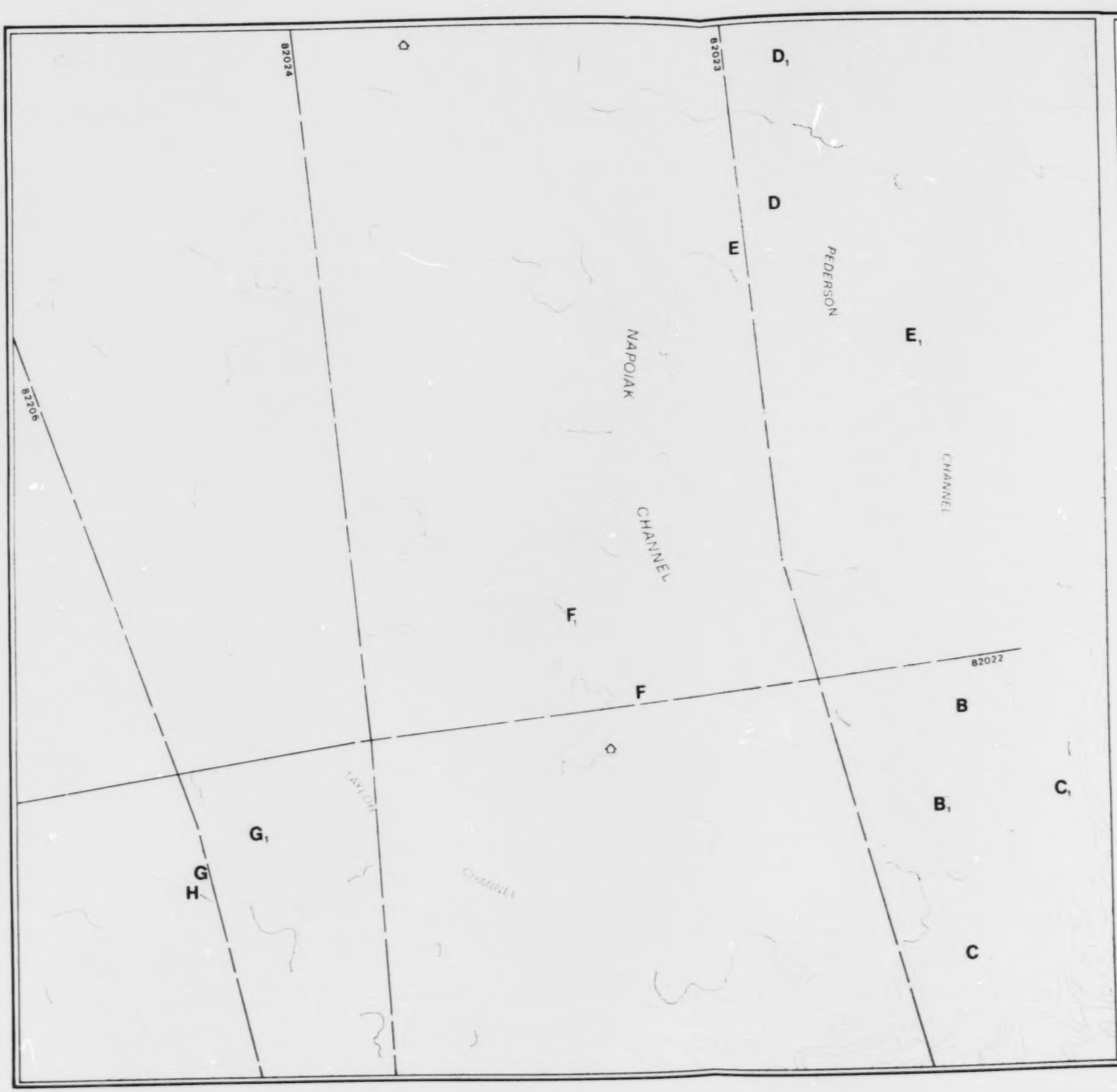

82024
82206
G1
G
H
Tracé
des lignes sismiques
par rapport
aux lacs étudiés
II
Légende
Cabanes de piégeurs
Lignes sismiques
Écoulements: permanent
intermittent
Milles
1
0
1
1000
0
1000
Mètres

Figure 2



Tracé des lignes sismiques par rapport aux lacs étudiés

Légende

- Cabanes de piégeurs
- Lignes sismiques
- Écoulements: permanent
- intermittent

Figure 2

Milles
1 0 1

1000 0 1000
Mètres

Tableau 1. Composition des échantillons de greniers prélevés sur les lacs de la région étudiée

Espèces	Pourcentage de fréquence										
	B	B_1	D	D_1	E	E_1*	F	F_1*	G	G_1	Moyenne
Potamogeton richardsonii	70	95	90	95	80	92	100	100	100	95	92
Potamogeton spp.	45	35	-	45	80	46	60	65	25	55	46
Characées	90	80	75	100	100	100	45	88	25	75	78
Equisetum fluviatile	-	10	15	-	-	8	-	18	10	-	6
Graminées	55	30	50	70	60	100	95	88	45	85	68
Myriophyllum exalbescens	25	20	50	50	65	38	20	47	75	45	44
Ceratophyllum sp.	15	15	10	55	55	-	-	12	-	5	17
Carex sp.	15	-	20	-	-	-	-	-	-	-	4
Musci (mousses)	-	-	5	-	-	62	-	6	-	-	7
Sparganium sp.	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	1
Picea	5	-	-	-	-	-	-	6	-	-	1
Salix	5	5	-	-	5	8	-	-	-	5	3
Divers	-	20	-	-	15	-	20	-	-	-	6

*N = 20 pour tous les lacs, sauf le lac E_1 (N=13) et le lac F_1 (N=17)

Tableau 2. Sommaire des données sur la profondeur de l'eau, la profondeur de la neige et l'épaisseur de la glace pour les lacs de la région étudiée, avril 1976*

Lac	Echantillon	Epaisseur moyenne de la glace (cm)	Profondeur moyenne de l'eau ** (cm)	Profondeur moyenne de la neige (cm)
B	5	135,0	70,0	12,5
B_1	DND	DND	DND	DND
C	DND	DND	DND	DND
C_1	DND	DND	DND	DND
D	5	108,3	38,4	18,1
D_1	5	107,5	65,0	15,6
E	7	117,1	120,0	22,8
E_1	5	87,5	96,3	DND
F	5	106,7	46,7	17,5
F_1	5	85,0	80,0	23,3
G	6	90,2	28,8	38,7
G_1	5	110,0	50,8	15,4
$\overline{X}$		105,3	66,2	18,3

*Les mesures furent prises près des concentrations de greniers connus, et à plus de 35 m du rivage.

** Profondeur moyenne de l'eau sous la glace.

6. MÉTHODES

6.1 Effets directs

6.1.1 Effets des pressions de pointe

Deux expériences furent faites pour déterminer les effets directs des explosions sismiques près du rivage des lacs. Étant donné qu'aucune des lignes sismiques ne franchissait les lacs dans la région des concentrations de greniers, on demanda aux équipes sismiques de procéder à des forages et d'amorcer des trous supplémentaires sur deux des lacs étudiés (lacs E et G). Pour la première expérience (lac E), on demanda à la Compagnie pétrolière impériale Ltée de placer une charge de 50 lb (22,6 kg) dans le trou. Cette charge, qui était considérablement plus puissante que la charge de 15 lb (6,8 kg) présentement utilisée par la Compagnie pétrolière impériale Ltée, fut choisie pour représenter la limite supérieure des charges qui ont été utilisées au cours des programmes sismiques dans le delta. Cette charge fut réduite à 25 lb (11,3 kg) pour la deuxième explosion expérimentale sur le lac G. Dans les deux cas les charges furent placées au fond d'un trou de 60 pi (19,2 m), à environ 8 m du rivage (figures 3 et 4).

Sur les deux lacs, des géophones et des hydrophones furent placés à divers intervalles (15, 30, 45, 60, 75, 90, 120 et 150 m), le long d'une ligne perpendiculaire au rivage à partir du trou de mine. Des trous furent forés dans la glace et des hydrophones furent suspendus dans l'eau à 1,5 m sous la surface de la glace (soit à environ 30 cm sous la partie inférieure de la couche de glace) (photo 3); l'hydrophone placé dans le trou le plus rapproché du trou de mine fut suspendu à 0,9 m du niveau de la glace. Des géophones furent placés à la surface de la glace à côté de chaque trou, de même que dans les greniers et les terriers riverains artificiels. On mesura l'épaisseur de la glace, la profondeur de l'eau et la profondeur de la neige à chaque endroit.

Des rats musqués capturés au moyen de pièges posés spécialement sur les lacs étudiés furent exposés à des explosions d'intensité spécifiée dans des terriers riverains simulés, dans des greniers et dans l'eau à des profondeurs et à des distances prédéterminées du trou de mine. Des animaux de contrôle furent maintenus à plusieurs centaines de verges du lieu de l'explosion. Les animaux placés dans les terriers riverains (photo 4) et dans les greniers demeurèrent à ces endroits pendant plusieurs minutes; on les y avait barricadés pour les empêcher de s'enfuir. Les animaux exposés aux effets de l'explosion sous l'eau furent gardés dans des cages et descendus dans l'eau (photo 5) où ils demeurèrent pendant environ 45 s. Tous les animaux furent examinés avant et après l'explosion pour déceler des signes visibles de blessures ou de défauts et pour déterminer le stress apparent causé par les conditions de manutention et de détention. Avant et après l'explosion, les rats musqués étaient logés dans des cages placées dans une boîte chauffée. La boîte était également utilisée pour transporter les animaux de la tente chauffée où ils étaient détenus pendant plusieurs heures avant

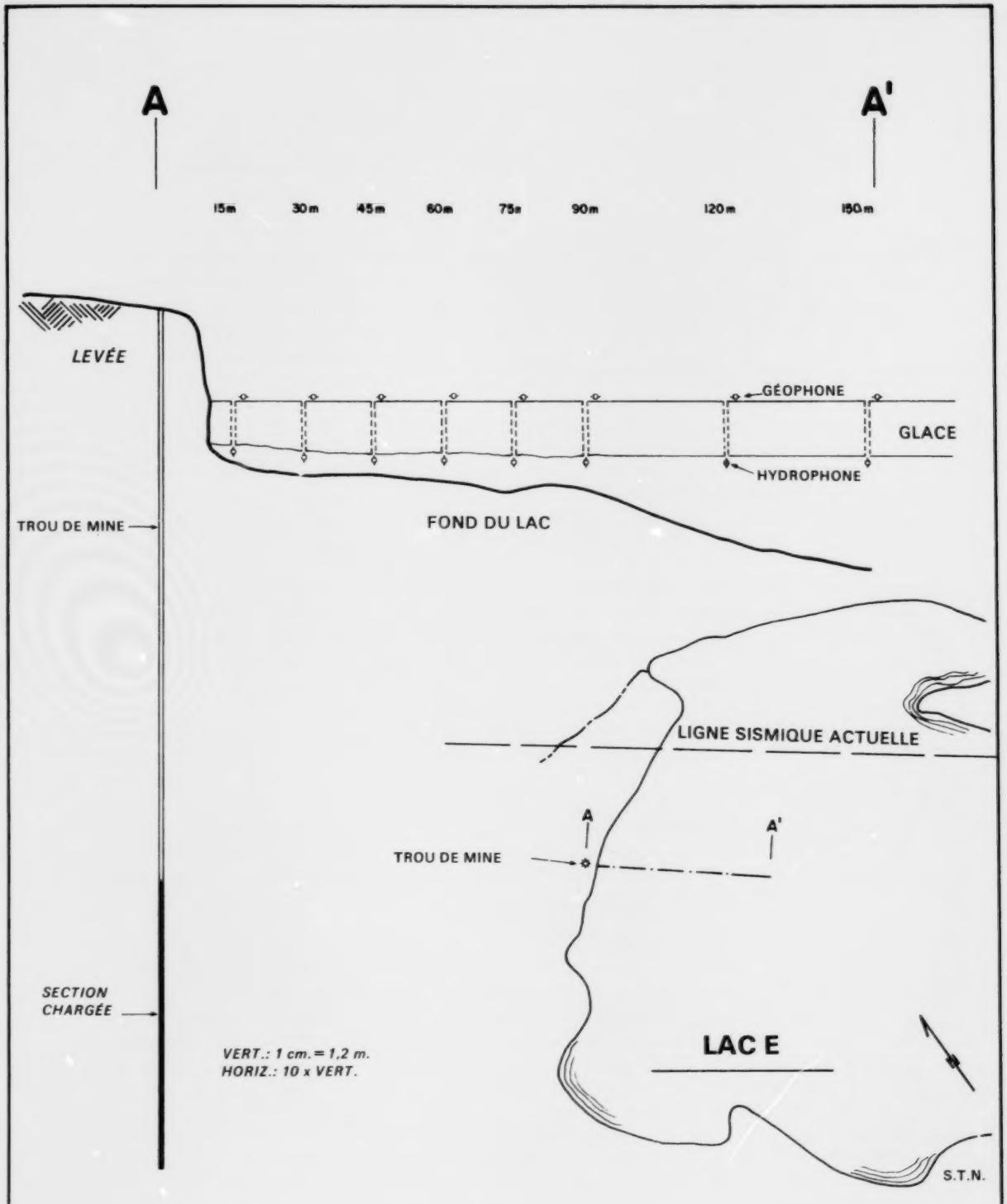


Figure 3

Position des appareils d'enregistrement sismique utilisés lors des explosions expérimentales sur le lac E

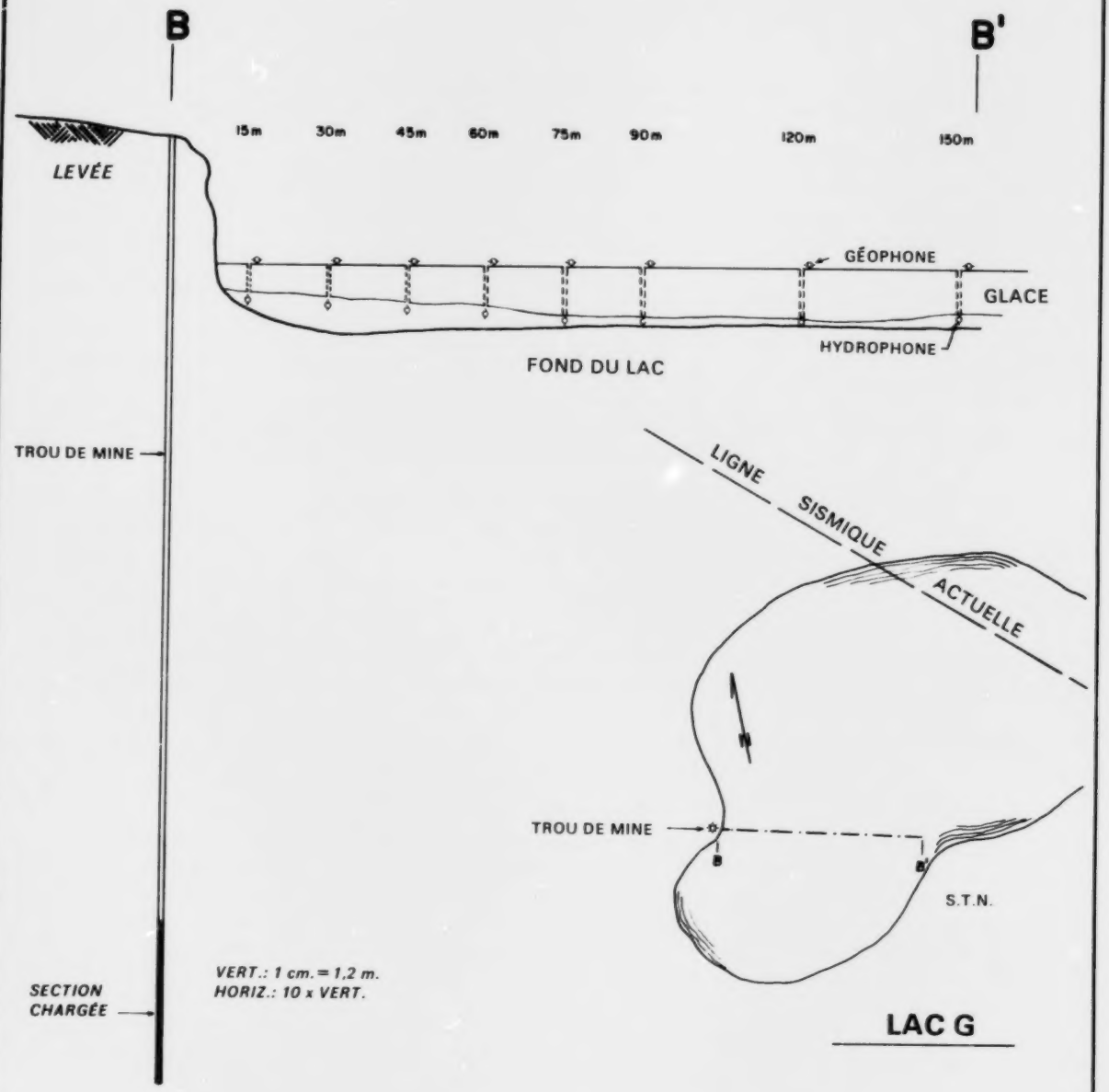


Figure 4

Position des appareils d'enregistrement sismique utilisés lors des explosions expérimentales sur le lac G

l'explosion, ainsi qu'à l'hélicoptère qui attendait pour transporter les animaux au Laboratoire de recherche scientifique d'Inuvik où se faisaient les dissections.

6.1.2 Examens pathologiques et histologiques

L'examen pathologique effectué après l'explosion comprenait un examen clinique pour déterminer la condition physique générale et le comportement des animaux, une autopsie ainsi qu'un examen des tissus au microscope. Les animaux étaient tués en leur faisant une injection intraveineuse d'une dose massive de barbituriques (Barb-lethal Laboratoires Hauer-Lockhart) dans la veine caudale, ou en leur administrant une dose massive d'éther. La peau était enlevée et le corps ouvert par incision ventrale. Les viscères étaient examinées et le foie, les poumons, les reins et les glandes surrénales étaient pesés et préservés dans une solution de formol dilué à 10% en vue d'un examen ultérieur au microscope. La membrane tympanique était exposée par une dissection minutieuse du canal auriculaire et des structures osseuses voisines. L'oreille moyenne et le cerveau étaient également exposés de cette manière. Après inspection, le cerveau était enlevé et préservé en vue d'un examen histologique.

L'examen histologique des tissus se faisait par le traitement de routine des tissus et par le tachage à l'hémotoxyline et à l'éosine de sections de paraffine. L'évaluation au microscope de l'état lipide des surrénales fut effectuée sur des sections gelées en utilisant une tache à l'huile rouge contenant 0 de graisse. L'examen au microscope des surrénales avait pour object de déterminer la réaction au stress. On rapporte que les glandes surrénales se dilatent en réaction au stress et que leur teneur en lipides se modifie (Seyle 1957, cité par Barrington 1975).

Les voies digestives furent préservées en vue d'une identification ultérieure des endoparasites pour mieux évaluer la condition physique générale des spécimens avant l'explosion et leur vulnérabilité relative au stress physiologique.

6.1.3 Autres dissections

D'autres examens après décès furent faits sur des animaux piégés. Les carcasses étaient livrées au Laboratoire de recherche d'Inuvik quelques heures à peine après la mort afin de procéder à la dissection. Les mesures consignées au laboratoire comprenaient la longueur totale, la longueur de la queue, le poids frais de chaque glande surrénale et chez les mâles, les poids des testicules. Les glandes surrénales, les testicules, les boyaux utérins, les yeux (pour déterminer vraisemblablement plus tard l'âge par le poids des lentilles oculaires) et les échantillons de tissus anormaux (y compris des sections de foie infectées de Taenia sp.) furent préservés dans une solution de formol à 10%. Une glande surrénale de chaque animal fut gelée rapidement en vue d'une analyse ultérieure de la teneur en lipides. Les carcasses étaient ensuite congelées.

6.2 Études de population

6.2.1 Piégeage d'animaux vivants

On a piégé des spécimens vivants sur quatre lacs (lacs E et E_1, et F et F_1), en vue de déterminer les niveaux de population avant et après les explosions sismiques. Une séance de piégeage comprenant six périodes de piégeage a eu lieu à chacun des lacs, dix à quinze jours avant l'explosion. Une deuxième séance comprenant trois périodes fut organisée deux jours avant l'explosion pour déterminer les effets du piégeage lui-même sur les niveaux de population aux lac E et E_1. Il ne fut pas possible de faire une séance semblable sur les lacs F et F_1 à cause de l'arrivée hâtive et imprévue des équipes sismiques au lac F.[1] Les niveaux de population post-sismiques furent déterminés d'après les résultats du piégeage au moyen de pièges d'acier.

Des pièges de 6" x 6" x 19", de type National, furent utilisés; il s'agit de pièges munis d'une porte basculante. Les pièges étaient tendus en enlevant un côté du grenier et en plaçant le piège dans cette ouverture de façon que la plate-forme rétractable se trouve entre le trou de plongée et la porte du piège. Le piège était entouré de tous les côtés par un épais isolant de mousse de styrène (photo 6), coupée de façon à reproduire les dimensions exactes du piège (d'après Hawley et Hawley 1975). Les efforts pour protéger les pièges contre les courants d'air froid comprenaient notamment l'application de neige mouillée et de boue autour des joints et de toutes les fissures suspectes. Après avoir mis les pièges en place, puis l'isolant et la boue, le grenier était recouvert d'une épaisse couche de neige légère pour mieux l'isoler, ainsi que le piège. Malgré tous ces efforts, les pièges étaient constamment bloqués par la végétation et la boue vraisemblablement pour éliminer les courants d'air lorsque les températures ambiantes baissaient sous -25°C.

Les rats musqués pris au piège (quelquefois pendant douze heures ou plus) n'ont pas semblé souffrir de cette captivité. Les animaux étaient retirés des pièges en les poussant vers un cône de mailles de fil de fer (Westworth 1974) doté d'un plancher amovible. Une pression vers le haut, sur le plancher, rendait le rat musqué relativement immobile, permettant ainsi de le baguer, de déterminer son sexe et de le mesurer (photo 7). Les animaux étaient identifiés au moyen d'une bague sur chaque oreille; il s'agissait de bagues autoperçantes de type National (Dimension 1, Style 1005). On déterminait le poids du rat musqué en le pesant dans le piège, puis en soustrayant le poids du piège vide. On a utilisé une balance à ressort de type Ohaus pour déterminer le poids à 10 g près. La longueur de la queue (de l'anus jusqu'au bout de la queue) et la longueur totale furent consignées. Le sexe était déterminé en notant la présence ou l'absence d'un pénis en palpant la papille urérale (Baumgartner et Bellrose 1943). Nous hésitons à estimer l'âge des rats musqués sur le terrain. Les méthodes utilisées pour déterminer l'âge des rats musqués vivants n'étaient pas satisfaisantes pour les animaux vieillissants capturés vers la fin de mars ou avril, à un moment où les jeunes approchent le poids et la dimension des adultes et plusieurs sous-adultes entrent en condition de reproduction (Baumgartner et Bellrose 1944, Beer et Meyer 1951, Fuller 1951a, Olsen 1959, et Hawley et Hawley 1975).

A la suite des activités sismiques, on s'est assuré la coopération d'un piégeur local pour faire du piégeage systématique dans huit des quatorze lacs visés par l'étude (lacs D, D_1, E, E_1, F, F_1, G et G_1). Un total de six groupes de pièges furent posés sur les greniers de chacun des lacs sauf sur les lacs F où quatre vérifications seulement furent faites. Lorsque le temps le permettait les pièges étaient vérifiés deux fois par jour; sinon, on procédait à des vérifications quotidiennes.

6.2.2 Examens de reproduction

Des rats musqués furent à nouveau tués au printemps (juin) afin de déterminer si les taux de reproduction varient entre les lacs exposés aux activités sismiques et les lacs de contrôle. En utilisant un fusil de calibre 22, les travailleurs sur le terrain abattaient de préférence des femelles, lorsqu'on pouvait faire la différence entre les sexes. Un piégeur local a fourni des spécimens additionnels. Les rats musqués étaient disséqués quelques heures après leur mort. Pour chacun, on vérifiait la condition physique générale (réserve de gras, état des organes, blessures, etc), on prenait les mesures normales du corps (poids du corps, longueur totale et longueur de la queue), et on conservait les yeux pour déterminer ultérieurement le poids des lentilles et l'âge. On comptait ensuite le nombre de corpora lutea, d'embryons, de cicatrices placentales et d'embryons résorbés.

6.3 Études d'activité

6.3.1 Relevés des greniers

Plusieurs lacs sur lesquels on avait observé des greniers actifs furent choisis comme lacs d'expérience (lacs B à G). Tous furent coupés par une ligne sismique et feraient l'objet d'une explosion près du rivage. Sept lacs de contrôle (lacs B_1 à G_1) au-delà de la ligne furent également choisis. On tenta de grouper les lacs par paire selon l'importance et la densité des greniers ce qui fut souvent difficile à cause de la rareté des lacs appropriés dans cette région.

Chaque grenier fut marqué et sa position notée sur des cartes à grande échelle. Dans la plupart des cas, la profondeur de la neige fut enregistrée à chaque grenier. Les trous de plongée des greniers ne gèlent pas par suite d'une utilisation continue; par conséquent, un trou de plongée gelé indique qu'un grenier est abandonné ou inactif. L'état des greniers sur les lacs étudiés fut déterminé en cherchant les trous de plongée au moyen d'une étroite tige d'acier inoxydable montée sur une poignée de bois. La première vérification pré-sismique était faite lorsque le grenier était repéré et marqué (20 au 28 mars); la deuxième vérification avait lieu peu avant l'explosion (les lacs de contrôle correspondants étaient vérifiés au même moment); la vérification post-sismique se faisait environ une semaine après la deuxième vérification. Plusieurs semaines après que les activités sismiques eurent cessé (28 au 30 avril), six paires de lacs furent de nouveaux visités (le temps et les difficultés causées par la

neige fondante ont empêché l'observation des lacs C et C_1). Tous les greniers qui à ce moment-là apparaissaient à travers la couche de neige fondante, furent consignés sur les cartes et on en vérifia l'activité. L'appendice III présente les cartes de chaque lac avec tous les greniers repérés. L'état de chacun est indiqué, tel qu'il fut déterminé au moment de la dernière visite. On mesura l'épaisseur de la glace, la profondeur de l'eau et la profondeur de la neige à chacun des lacs. Des échantillons de 20 greniers furent recueillis à chacun des lacs et analysés en laboratoire. On espérait que des différences qualitatives dans la flore aquatique pourraient être décelées à partir de ces données.

6.3.2 Surveillance de l'activité des greniers

Les données concernant les activités des rats musqués furent obtenues en installant un système de commutateurs électriques dans les greniers, lesquels étaient reliés à un enregistreur graphique, d'après le concept de Hawley et Hawley (1975). Une batterie d'automobile de 12 V et l'enregistreur (esterline Anganus à 20 points communs de retour, enregistreur d'événements modèle A620x) furent placés dans une boîte de bois chauffée au dessus du point de congélation au moyen d'une petite chaufferette catalytique. Les éléments du système furent reliés par un fil électrique de sonnette à deux conducteurs. Les commutateurs étaient, si possible, mis en place au moment de l'ouverture des greniers pour le piégeage des animaux vivants.

La surveillance des activités dans les greniers se fit sur deux lacs étudiés (E et G) pour coincider avec les expériences sur les effets directs. Cette méthode posa d'importants problèmes, principalement à cause du gel des commutateurs à l'intérieur des greniers et de la formation de glace entre les points de contact électrique. Même la vérification quotidienne des sondes n'a pas réussi à résoudre entièrement le problème. Nous croyons que cette technique devra être améliorée grandement avant de pouvoir y avoir recours en toute confiance.

6.3.3 Télémesure

Une expérience de télémesure par radio fut tentée pour déceler les mouvements et les activités des rats musqués sur le lac G avant et après l'explosion expérimentale. Nos efforts ont échoué pour un certain nombre de raisons d'ordre logistique et aucune donnée utilisable ne fut recueillie de cette façon.

7 RÉSULTATS ET DISCUSSION

7.1. Répercussions directes

7.1.1 Changements de pression associés aux explosions sismiques

Au cours des explosions expérimentales sur les lacs E et G, les groupes d'hydrophones et de géophones alignés perpendiculairement au trou de mine enregistraient instantanément la pression de l'eau et la vélocité instantanée des particules respectivement. Les pressions de l'eau mesurées par hydrophone au cours des expériences 1 et 2 figurent au tableau 3. On ignore cependant si les données obtenues par les géophones peuvent servir d'indices utiles de l'intensité des vagues de choc. Par conséquent, aucune évaluation de ces données ne sera faite.

Au cours de l'explosion expérimentale sur le lac E, les données de pression ne furent pas enregistrées par les hydrophones placés à 15, 30, 45 et 60 m du trou de mine, parce qu'on avait surchargé le "gain" particulier de l'unité d'enregistrement, ce qui causa une distorsion ou un équarrissage des amplitudes enregistrées sur le sismographe. Sur le lac G, lors de la deuxième expérience, on réduisit la charge de 22,6 kg à 13,6 kg. Encore une fois, la surcharge de l'unité d'enregistrement nous a empêchés d'obtenir des données pour les hydrophones situés à 15 et à 30 m du trou de mine. On peut toutefois déterminer des indices de pression théoriques puisque, dans l'eau, la pression de pointe diminue inversement au premier pouvoir de la distance (Hubbs et Rechnitzer 1952). Ainsi, à 15,2 m, on pourrait s'attendre à un indice de pression d'eau d'environ ,004 lb/po^2 (J. Hogg comm-pers). En comparant les pressions des expériences 1 et 2, des indices très semblables sont communs pour les deux lacs. Selon la quantité d'explosifs utilisées, on s'attend que les indices de pression sur le lac E soient légèrement supérieurs à ceux du lac G et que cet accroissement soit proportionnel à un tiers de la puissance de la charge (Hubbs et Rechnitzer 1952). Au cours de l'explosion expérimentale sur le lac G, une partie de l'énergie explosive s'échappa par le haut du trou de mine; on peut supposer qu'une énergie moins grande s'est communiquée au matériau environnant. Pour cette raison, il est même possible que les pressions aient été moindres dans le lac G que dans le lac E (J. Hogg comm-pers). On ne peut fournir une explication simple de ces résultats variés étant donné les rapports complexes entre l'épaisseur de la glace, la profondeur de l'eau et la nature du fond du lac.

Au cours du programme sismique de la Compagnie pétrolière impériale des filtres anti-alias à haute fréquence furent utilisés dans les appareils d'enregistrement pour éliminer les hautes fréquences afin de permettre l'enregistrement numérique des données. Par conséquent, l'amplitude et la fréquence du signal enregistré peuvent avoir subi une distorsion lorsque les signaux reçus dépassaient l'éventail de fréquences optimales des filtres. (J. Hogg comm-pers).

Tableau 3. Changements de pression d'eau enregistrés au cours des explosions expérimentales sur les lacs E et G

N° du trou	Distance du trou de mine (m)	Changement de pression (lb/po^2)	
		Lac E	Lac G
1	150	0,00043	0,00021
2	120	0,00053	0,00054
3	90	0,00116	0,00111
4	75	0,00390	0,00074
5	60	DND	0,00218
6	45	DND	0,00103
7	30	DND	DND
8	15	DND	DND

En évaluant les effets des changements de pression sur un animal, il faut tenir compte du taux de changement de pression de même que de la pression de pointe. Par exemple, un animal peut subir des dommages par suite de faibles pressions si celles-ci se produisent pendant une très courte période de temps.

Des géophones furent placés sur la surface de la glace, aux mêmes endroits que les hydrophones; on en plaça également sur et dans les greniers ainsi que dans des terriers riverains simulés. On espérait que les données recueillies par les géophones permettraient de déterminer l'importance des vibrations subies par le grenier et le terrier riverain. Toutefois, il semble maintenant que les données recueillies ne pourront être transposées en unités de vibration et qu'il ne sera pas possible de faire les comparaisons désirées.

7.1.2 Expérience 1 - lac E

La charge expérimentale sur le lac E fut amorcée à 9h12 le 4 avril 1972. La température la plus basse au cours de la nuit avait été de -24°C; le ciel était clair et il n'y avait pas de vent. Les animaux furent inspectés avant l'expérience pour déceler des signes de blessure ou de stress inhabituels. On constata qu'un animal avait la queue partiellement gelée et qu'il semblait stressé. Il fut donc décidé de ne pas utiliser ce spécimen à des fins d'expérience. Tous les autres animaux semblaient en bonne santé.

Deux spécimens furent barricadés dans un terrier riverain simulé, deux dans un grenier où le trou de plongée avait été recouvert d'un grillage pour les empêcher de s'échapper, et deux autres furent descendus dans l'eau à 15 et à 30 m du trou de mine. Les animaux furent descendus dans l'eau de façon que les cages se trouvent juste sous la glace (à environ 1 m). Ils furent maintenus dans cette position pendant 45 secondes. L'explosion fut ressentie comme un coup lourd accompagné d'un bruit de craquement de glace. Un observateur placé près d'un grenier ouvert ne put déceler aucun changement dans le niveau de l'eau à l'intérieur du grenier.

Les animaux furent rapidement retirés de leur position, placés à bord de l'hélicoptère qui attendait, et transportés au laboratoire pour l'autopsie. Les résultats suivants furent consignés.

Submergés à 15 m du trou de mine:

Animal n° 2. Poids du corps: 785 g. Jeune femelle

Les membranes tympaniques étaient intactes, mais une légère couche de sang libre s'y trouvait, en provenance de l'engrenure des os formant le mur médian de l'oreille moyenne. Quelques hémorragies pétéchiales étaient apparentes dans les poumons. Les méninges manifestaient des signes de congestion.

Animal n° 3. Poids du corps: 785,5 g. Jeune mâle.

Hémorragie dans le fascia rétropéritonéal au-dessus des reins, accompagnée d'emphysème dans ces tissus. Veine cave très dilatée. Les tambours de l'oreille étaient normaux.

Submergés à 30 m du trou de mine:

Animal n° 4. Poids du corps: 836,5 g. Mâle.

Aucune lésion observée. Les poumons furent examinés alors que le coeur et les mouvements respiratoires fonctionnaient encore. Aucune trace d'hémorragie ou de congestion.

Animal n° 5. Poids du corps: 730,4 g. Jeune femelle.

Les poumons portaient des traces de congestion hypostatique et de légères hémorragies pétéchiales. Hémorragies sous-cutanées présentes au-dessus de la partie caudale dorsale arrière, causées vraisemblablement par des accidents de manutention.

Placés dans un des terriers riverains simulés:

Animal n° 7. Poids du corps: 1020 g. Femelle.

On a eu des difficultés à procéder à l'euthanasie par intraveineuse. Une péritonite séro-fibrine se développa quelques minutes après l'injection intrapéritonéale de 0,5 cc de barbituriques. Les poumons portaient des traces d'hémorragie et de congestion. Les oreilles n'étaient pas affectées.

Animal n° 8. Poids du corps: 772,2 g. Jeune mâle.

Hémorragie et congestion des poumons, très légère hémorragie de l'engrenure des os formant le mur de l'oreille moyenne.

Placés dans des greniers:

Animal n° 9. Poids du corps: 722 g. Jeune femelle.

Plusieurs hémorragies sous-pleurales. Aucune autre manifestation apparente.

Animal n° 10. Poids du corps: 926,1 g. Femelle adulte.

Aucune lésion observée.

Contrôle (spécimens capturés au même moment que les animaux utilisés pour les expériences)

Animal n° 6. Poids du corps: 806,4 g. Mâle.

Hémorragies au-dessus du lobe apical du poumon. Aucun autre changement significatif ou observable, si ce n'est la congestion des méninges.

Animal n° 11. Poids du corps: 690,4 g. Jeune mâle.

La carcasse était très émaciée et la queue avait gelé. Les derniers 6 cm de queue avaient été mangés. Il n'y avait aucune graisse brune. L'estomac et les intestins étaient vides. Les surrénales étaient dilatées.

Contrôle (capturé et disséqué le 3 avril):

Animal n° 1. Poids du corps: 804 g. Mâle.

Cet animal fut tué par une injection intrapéritonéale de 2 cc de barbituriques. La cavité péritonéale fut ouverte en moins de cinq minutes et on pouvait observer une péritonite aiguë caractérisée par une effusion fibrineuse jaune adhérant aux viscères abdominales. Il n'y avait qu'une seule grande ecchymose pulmonaire. Les yeux étaient fermés et scellés par une secrétion conjonctivale séromucineuse.

Contrôle (capturé le 3 avril et disséqué le 5 avril):

Animal n° 12. Poids du corps: 1043 g. Mâle adulte.

Cet animal fut capturé un jour avant l'explosion expérimentale et gardé en cage au laboratoire pour permettre un contrôle de stress. Les surrénales étaient manifestement plus grosses que celles du n° 1, mais il n'y avait aucune lésion importante.

7.1.3 Expérience 2 - lac G

La charge expérimentale sur le lac G fut amorcée à environ 9h40 le 10 avril 1976. La température la plus basse au cours de la nuit avait été de -9°C; le jour était clair et assez calme. Tout comme pour la première explosion expérimentale, on examina les animaux afin de déterminer les blessures et le stress; tous semblaient en bonne condition.

Trois spécimens furent introduits dans des terriers riverains simulés construits le jour précédent et barricadés pour les empêcher de s'enfuir. On descendit également trois autres spécimens dans un trou percé dans la glace à 15 m du trou de mine. Tout comme avant, les cages furent descendues juste sous la surface inférieure de la glace, et elles y furent maintenues pendant environ 45 secondes. Contrairement à la première

explosion expérimentale (où la charge était deux fois plus forte), cette détonation fut forte et l'explosion projeta de la poussière et des fragments de sol gelé à plus de 20 m. Cela se produit assez fréquemment lors des activités sismiques et ce phénomène est attribuable à un foulage insuffisant du sol, une fois la charge mise en place.

Encore une fois, les animaux furent récupérés et transportés par hélicoptère jusqu'au laboratoire d'Inuvik pour procéder aux dissections. Ces examens ont donné les résultats suivants:

Submergés à 15 m du trou de mine:

Animal n° 13. Poids du corps: 1095,2 g. Femelle adulte.

Une légère hémorragie fut observée le long de l'engrenure des deux oreilles moyennes. Il n'y avait pas d'autre lésion.

Animal n° 15. Poids du corps: 777,1 g. Jeune femelle.

Signes de congestion sur la surface dorsale du poumon. Légère hémorragie le long de l'engrenure des deux oreilles moyennes.

Animal n° 17. Poids du corps: 828,5 g. Jeune femelle.

Aucune lésion observée.

Placés dans les terriers riverains simulés:

Animal n° 14. Poids du corps: 910 g. Mâle.

Nombreuses hémorragies pétéchiales apparentes dans le poumon. Hémorragie présente le long de l'engrenure de l'une des oreilles moyennes.

Animal n° 16. Poids du corps: 920 g. Mâle.

Nombreuses hémorragies pétéchiales présentes dans le poumon de même qu'une congestion généralisée. Hémorragie apparente le long de l'engrenure de l'oreille moyenne gauche.

Animal n° 18. Poids du corps: 691,9 g. Jeune mâle.

Très légère hémorragie pleurale. Aucune autre lésion.

Contrôle (animaux capturés au même moment que les animaux utilisés pour l'expérience):

Animal n° 19. Poids du corps: 996 g. Femelle.

Aucune lésion ou autre effet apparent. Les animaux semblaient stressés pendant la captivité. La léthargie et le refus de manger ou de boire s'accompagnaient par une légère dilatation surrénale.

Animal n° 20. Poids du corps. 928,6 g. Mâle.

Cet animal semblait également stressé et donnait des signes de léthargie et de refus de boire ou de manger. Ces animaux de contrôle ne furent examinés que 24 heures après l'explosion et furent donc soumis au stress de la captivité. Les surrénales étaient légèrement dilatées. Aucune évidence de répercussions d'explosion.

Animal n° 21. Poids du corps: 1060,6 g. Femelle.

Congestion apparente sur le lobe médian droit du poumon. L'animal ne semblait pas extérieurement stressé (il mangea et but tout au long de sa captivité), mais les surrénales étaient fortement dilatées et les dépôts de graisse n'étaient que modérés.

Tous les animaux étaient en bonne condition physique et avaient d'amples réserves de graisse de corps et de graisse brune. L'examen parasitologique a révélé la présence d'une quantité minime de parasites et ceux-ci ne semblaient pas nuire à la condition physique des animaux.

L'examen histologique des divers tissus recueillis chez ces animaux ne révéla aucune autre lésion.

Des réactions biologiques et pathologiques intéressantes étaient évidentes chez les rats musqués sacrifiés au moment de la première explosion expérimentale. L'euthanasie fut faite de façon à causer le moins de stress possible et l'injection intraveineuse de barbituriques a entraîné une mort rapide. Malgré cela, les hémorragies agonales dans le poumon, tant parenchumateuses que sous-capsulaires, furent fréquentes tant chez les animaux de contrôle que chez les animaux d'expérience. Une congestion marquée et une décoloration des poumons survenaient en moins de deux à trois minutes après la mort. Il était évident que l'évaluation de l'hémorragie et de la congestion dans les poumons ne constituerait pas une mesure valable du traumatisme causé à ces animaux.

De la même façon, la congestion des méninges était marquée et apparemment causée par le renversement des animaux sur le dos pour la dissection. On observa chez tous les animaux la congestion des méninges, en partie dans le tentorium ossci au-dessus du cerebellum.

Les injections intrapéritonéales de barbituriques (utilisés seulement pour la première expérience) produisaient une réaction très rapide et violente des tissus. Les animaux produisaient une exsudation excessive de fibrine et de fluide, indiquant la présence d'une péritonite bien développée, moins de cinq minutes après l'injection. Une telle capacité à développer une réaction inflammatoire aiguë indique une capacité inhabituelle à réagir au stress et aux blessures (celle-ci s'est probablement développée pour réagir aux conditions rigoureuses de l'habitat). Ces animaux semblent également avoir un caractère très calme, ce qui permet

de supposer, qu'après une réaction initiale rapide au stress, l'incident sera rapidement oublié, pourvu que la cause du stress ou le stimulus disparaisse.

Chez les animaux domestiques, l'injection intraveineuse de barbituriques produit un engorgement massif de la rate. On n'a pas observé de splénomégalie chez ces rats musqués, mais après l'euthanasie la veine cave postérieure était extrêmement dilatée et congestionnée de sang. Cela suggère que la veine cave postérieure sert d'organe de choc chez ces animaux.

La principale lésion constatée à la suite des explosions fut une hémorragie provenant de l'engrenure des os qui forment la paroi médiane de l'oreille moyenne. L'importance de l'hémorragie était légère et on n'a pu associer à ces lésions aucune modification de comportement ou indice clinique. Histologiquement, il n'y avait pas d'hémorragie capillaire dans le cerveau indiquant des blessures plus sérieuses. Chez un animal, on a constaté une hémorragie rétro-péritonéale péri-rénale diffuse. Cette lésion est équivoque étant donné que la dissection dans cete partie exigeait habituellement l'incision de vaisseaux sanguins qui inondaient les abords et produisaient des conditions semblables à une hémorragie. Même s'il semble que cette hémorragie (chez l'animal n° 3) puisse résulter d'une blessure attribuable à l'explosion, on ne peut l'affirmer avec certitude.

Etant donné que le rat musqué est bien adapté à la vie sous l'eau, les glandes lacrymales secrètent une substance séromucineuse qui s'encroûte autour des paupières lorsque l'animal est gardé vivant dans une pièce chauffée à partir d'un point central. Cela donne l'apparence d'une conjonctivite, mais ce phénomène a été considéré comme normal. Aussi, vraisemblablement par suite d'une adaptation aux conditions de plongée et aux grands changements de pression, la membrane tympanique est construite solidement et comprend des esquilles de cartilage et d'os qui viennent renforcir une membrane rigide. Son apparence suggère qu'il faudrait une force beaucoup plus grande pour en entraîner la rupture qu'il ne serait nécessaire pour causer la rupture du tambour de l'oreille d'un animal surtout terrestre.

Ces constations expérimentales indiquent que les animaux qui se trouvent tout près des trous de mine sont susceptibles, lorsque les charges explosent, de subir quelques effets pathologiques. Des cinq animaux examinés après avoir été exposés à une explosion dans un terrier riverain simulé, trois présentaient des signes d'hémorragie le long de l'engrenure de l'oreille moyenne, et tous les cinq avaient subi de légers dommages aux poumons tels qu'indiqués par des hémorragies pétéchiales. Dans le cas de ces animaux, les dommages à l'oreille ne furent observés que d'un côté, ce qui peut

suggérer que l'orientation du corps a pu être un facteur important. Des cinq animaux exposés à l'explosion dans l'eau, à 15 m du trou de mine, trois avaient subi des dommages à l'oreille moyenne, mais un seul avait eu les poumons affectés. Dans le cas des animaux ayant eu les oreilles endommagées, le facteur orientation ne semble pas avoir joué, puisque les deux oreilles étaient touchées. Parmi les animaux exposés aux explosions dans ces greniers ou submergés à des distances supérieures à 15 m, seulement un cas d'hémorragie pétéchiale au poumon a été observé. Les animaux de contrôle n'avaient pas de lésion. Aucune lésion sous-cutanée n'a été observée chez les animaux blessés et les blessures ne semblaient pas avoir été causées par un choc de l'animal contre la cage ou les parois du terrier.

Même si ces résultats indiquent que les animaux qui se trouvent tout près du trou de mine sont susceptibles de subir des blessures, on croit que l'importance des blessures ne pouvait que causer une douleur et un inconfort passagers, que ces blessures ne prêteraient pas à conséquence et que les animaux se remettraient rapidement.

Les appareils n'ayant pas enregistré les pressions exactes aux stations rapprochées des trous de mine, il a été impossible de déterminer les changements de pression. Nous pouvons toutefois déduire que la plus haute pression enregistrée au cours de cette étude (,00390 lb/po^2 n'était pas suffisante pour causer ces effets. Comme on le verra plus loin, il faudrait des instruments beaucoup plus élaborés que ceux utilisés pendant la présente étude pour obtenir des renseignements particuliers concernant les changements de pression dangereux et l'importance des bruits.

7.1.4 Évaluation de la réaction surrénale

Les surrénales sont des glandes de sécrétion interne qui semblent dégager des hormones servant à stimuler les cellules de la zona fasciculata (couche moyenne du cortex surrénal) pour dégager du cortisol lequel suscite une fonction physiologique élevée nécessaire pour équilibrer l'activité physique accrue qui accompagne souvent le stress. Des changements se produisent dans le cortex surrénal par suite de cette stimulation. Il s'agit notamment de l'accumulation et de l'assimilation des précurseurs lipides de cortisol, et de l'hypertrophie cellulaire qui se traduit par un accroissement de l'épaisseur spécifique de la zona fasciculata. Ces facteurs furent évalués en utilisant des colorants oléagineux rouges à 0 de gras, pour déterminer l'accumulation des lipides, et en faisant une évaluation histologique de la dimension des cellules et de la congestion des vaisseaux sanguins du cortex surrénal, et en mesurant l'épaisseur de la zone.

Les surrénales de tous les animaux disséqués furent divisées en trois catégories:

(1) animaux exposés aux explosions expérimentales et disséqués quelques heures après l'événement;

(II) animaux pigés dans les lacs où des explosions sismiques régulières avaient lieu;

(III) animaux piégés dans les lacs où il n'y a pas eu d'explosion (animaux de contrôle). Ces deux dernières catégories d'animaux furent piégés et disséqués une à deux semaines après la cessation des activités sismiques.

La seule mesure jugée valable pour l'évaluation du stress au cours de cette étude fut l'accroissement du poids des glandes et de la zona fasciculata. Ce phénomène était apparent chez les animaux jugés très stressés. Les examens au moyen de colorants pour déterminer l'infiltration de gras, et l'évaluation des congestions et de l'hypertrophie cellulaire n'ont pas révélé de changements significatifs (tableau 4). Aucun accroissement ni aucune dimunition de lipides n'ont pu être démontrés dans l'une ou l'autre des glandes surrénales par les colorants utilisés. Aucune différence entre les animaux des catégories I et III n'a pu être démontrée à partir des données obtenues pour l'un ou l'autre des paramètres d'évaluation.

La réaction surrénale fut également utilisée pour mesurer les effets de stress soutenus, ou à long terme, causés par les explosions sismiques. Les paramètres de grosseur, d'hypertrophie cellulaire, d'infiltration de gras et de congestion furent mesurés, mais aucune différence significative n'a pu être observée entre les groupes (catégories II et III). Cela indique que l'examen des surrénales est inapproprié pour mesurer le stress à long terme chez les rats musqués, ou encore que les animaux n'ont pas, en fait, vécu de situation stressante prolongée.

On vérifia, en utilisant les animaux stressés (par ex. plusieurs jours de captivité, pauvre condition physiologique, blessure), que le stress aigu et constant produisait une hypertrophie des surrénales (photo 8 et 9). Des poids de surrénales de deux à trois fois supérieurs à la moyenne furent observés après deux jours de captivité. Cette réaction était étonnamment rapide. Il serait toutefois impossible de déceler le stress de ce genre dans les animaux de la catégorie I étant donné le délai extrêmement court entre l'explosion expérimentale et la dissection. Chez les animaux de la catégorie II par contre, les délais entre l'explosion sismique routinière et la dissection étaient d'une à deux semaines, ce qui était vraisemblablement assez long pour permettre aux animaux stressés momentanément de recouvrer un équilibre endocrinien plus régulier et pour permettre aux glandes surrénales dilatées de retrouver leurs dimensions normales. Il est donc possible que des animaux stressés puissent avoir échappé à notre analyse. Un autre facteur qui vient compliquer la situation, soit l'utilisation de l'hypertrophie surrénale comme indice du stress résultant d'une activité sismique, c'est qu'avec l'amorce de la reproduction, on doit s'attendre à une dilatation des surrénales, surtout chez les femelles. Les glandes des femelles capturées en juin étaient deux ou trois fois supérieures aux glandes les plus grosses des animaux capturés en avril.

Tableau 4. Résultats de l'évaluation histologique des glandes surrénales

Catégorie		Poids des surrénales (g)	S*	H	FI	CH
I		0,093	20	1	-	3
		0,092	18	1	-	2
		0,057	17	2	-	1
		0,139	21	3	-	1
		0,155	27	1	-	4
		0,236	32	4	-	4
	$\bar{X}$ =	0,128	22,5	2	-	2,5
II		0,115	22	2	5	2
		0,064	15	1	3	1
		0,064	15	1	5	1
		0,124	23	4	2	3
		0,058	13	1	3	1
		0,127	24	3	1	5
		0,106	19	1	1	2
		0,087	17	2	1	2
		0,086	23	2	5	2
		0,108	20	2	1	2
		0,109	18	2	4	2
		0,177	25	6	4	6
		0,054	17	1	1	1
		0,087	23	1	1	3
		0,075	18	2	1	2
	$\bar{X}$ =	0,096	19,4	2,1	2,5	2,3
III		0,062	15	1	1	1
		0,070	20	2	1	2
		0,220	33	3	3	4
		0,070	20	1	1	3
		0,065	14	1	1	2
		0,081	18	2	1	2
		0,106	20	2	4	2
		0,111	23	2	4	3
		0,140	30	1	3	4
		0,118	33	4	5	3
	$\bar{X}$ =	0,104	22,6	1,9	2,4	2,6

S* = grosseur numérique arbitraire du cortex surrénal
H = hémorragie et congestion
FI = infiltration de gras
CH = hypertrophie cellulaire

Les résultats de l'analyse du poids des surrénales des animaux des catégories II et III sont présentés au tableau 5. Il ressort de ces données que l'activité sismique n'a eu aucune répercussion sur la moyenne de poids des glandes surrénales. Il est cependant possible que des animaux individuels aient pu être affectés par l'explosion dans les lacs expérimentaux. Cela se refléterait par la fréquence supérieure d'animaux ayant des surrénales dilatées dans ces lacs. La figure 5 n'indique toutefois pas une telle tendance.

7.2 Études de population

7.2.1 Effet de l'activité sismique sur les niveaux de population

Les estimations de population basées sur les programmes de piégeage d'animaux vivants et morts sur les lacs E et F, de même que sur les lacs de contrôle correspondants, furent établies en utilisant la formule d'estimation Schnabel (Overton et Davis 1969; Chapman et Overton 1966). Les hypothèses qui justifient l'utilisation de cette formule semblent applicables étant donné qu'au cours de l'hiver le recrutement et la dispersion ne se produisent pas et que la population peut, à toutes fins utiles, être considérée comme stable.

Les résultats indiquent qu'aucun changement significatif ne s'est produit dans les niveaux de population sur l'un ou l'autre des quatre lacs observés après explosion sismique (tableau 6). Les limites de tolérance, calculées selon la méthode décrite par Chapman (1948) et Chapman et Overton (1966), sont très larges et montrent un recoupement important.

On devrait tenir compte de deux questions additionnelles en rapport avec ces estimations de population. Premièrement, alors que tous les greniers connus firent l'object d'un piégeage d'animaux vivants sur chacun des lacs, la couche de neige au cours des mois de mars nous a empêchés de trouver tous les greniers. Par conséquent, seulement une partie de la population peut avoir fait l'objet d'un échantillonnage dans chaque cas. En s'appuyant sur un relevé des greniers effectué plus tard en avril, alors que la couche de neige était moins épaisse, la proportion des greniers actifs trouvés et ayant fait l'objet d'un piégeage varie de 53 p. 100 sur le lac F à 90 p. 100 sur le lac F_1. Cet aspect n'est pas jugé important pour la comparaison des changements dans les niveaux de population, étant donné que seulement les greniers qui firent au départ l'objet d'un piégeage d'animaux vivants firent l'objet d'un piégage post-sismique. Deuxièment, les techniques d'échantillonnage ont varié pour le piégeage pré-sismique et le piégeage post-sismique. L'indice Schnabel est normallement utilisé dans les cas ou le piégeage vivant a eu lieu tout au long de la période d'échantillonnage. Une critique de notre méthodologie ainsi que les tableaux Schnabel établis pour chacun des lacs étudiés sont donnés à l'appendice II.

Tableau 5. Effets de l'activité sismique sur le poids des glandes surrénales

Lac	$\bar{X}$ Poids du corps (g)			$\bar{X}$ Poids des surrénales (g)			% Poids du corps (g)		
	Mâles	Femelles	Total	Mâles	Femelles	Total	Mâles	Femelles	Total
D	1027(16)	952(14)	992(30)	0,071	0,077	0,074	0,0069	0,0080	0,0074
E	1089(19)	976(20)	1031(39)	0,091	0,088	0,090	0,0085	0,0089	0,0087
F	1104(12)	973(11)	1041(23)	0,097	0,111	0,104	0,0089	0,0114	0,0101
G	1020(2)	1023(6)	1022(8)	0,077	0,112	0,103	0,0075	0,0105	0,0097
Toutes les expériences	1070(49)	974(51)	1021(100)	0,085	0,093	0,089	0,0080	0,0094	0,0087
D_1	1052(16)	1018(19)	1034(35)	0,098	0,105	0,102	0,0094	0,0102	0,0098
E_1	848(8)	865(7)	856(15)	0,076	0,119	0,096	0,0090	0,0135	0,0111
F_1	1115(14)	943(10)	1043(24)	0,104	0,098	0,102	0,0097	0,0107	0,0101
G_1	1250(3)	1156(3)	1203(6)	0,101	0,115	0,108	0,0081	0,0099	0,0090
Tous les contrôles	1048(41)	982(39)	1016(80)	0,096	0,106	0,101	0,0093	0,0109	0,0101
Tous les lacs	1059(90)	977(90)	1018(180)	0,090	0,099	0,095	0,0086	0,100	0,0093

Les parenthèses indiquent l'importance des échantillons

Figure 5

Répartition de fréquence des catégories de poids des glandes surrénales

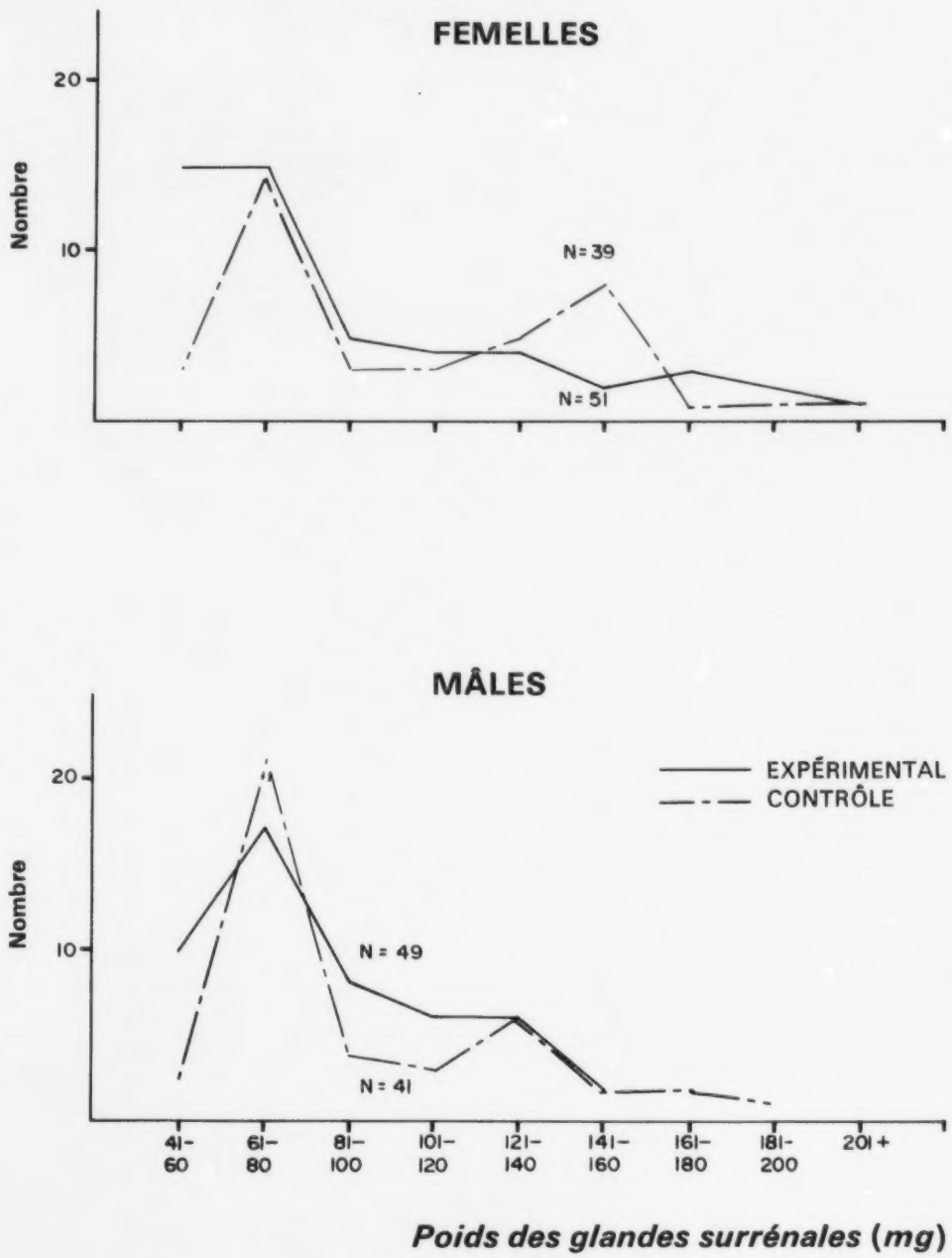


Tableau 6. Effet de l'activité sismique sur l'importance des populations

Lac	Estimation des populations* (Limites de tolérance de 95%)	
	Pré-sismique	Post-sismique
E	N=54 (28,62 ≤ N ≤ 106,59)	N=51 (34,05 ≤ N ≤ 76,21)
E_1	N=34 (18,80 ≤ N ≤ 62,51)	N=29 (19,03 ≤ N ≤ 44,83)
F	N=27 (15,00 ≤ N ≤ 49,88)	N=30 (20,47 ≤ N ≤ 45,82)
F_1	N=38 (5,47 ≤ N ≤ 1481,16)	N=23 (12,01 ≤ N ≤ 44,72)

*Calculée en utilisant la méthode Schnabel (Chapman et Overton 1966).

7.2.2 Reproduction

Des rats musqués femelles furent recueillis en juin 1976, tant dans les zones étudiées que dans les zones de contrôle et on procéda par la suite à des examens et à des dissections. Les données concernant le rendement reproductif de ces animaux figurent au tableau 7. Une comparaison de la proportion des femelles gravides, tant dans les zones d'expérience que dans celles de contrôle, n'a révélé que des différences mineures ($X^2 = 0,44, p > 0,05$). Les moyennes d'embryons (et de cicatrices placentales) par femelle gravide étaient également semblables tant chez les groupes expérimentaux que chez les groupes de contrôle (8,18 et 8,61 respectivement). Le nombre de jeunes par portée calculé à partir de ces données étaient en moyenne de 8,06 (après avoir tenu compte des résorptions). Cette moyenne est semblable à celle établie par Stevens (1955) dans le delta du Mackenzie (8,4 jeunes par portée) et est légèrement plus élevée que les moyennes calculées par Westworth (1974) pour les portées complètes (7,2 et 7,5 petits par portée en 1970 et 1971 respectivement) dans le delta des rivières de la Paix et Athabasca.

La résoprtion d'embryons fut observée tant chez les groupes expérimentaux que chez les groupes de contrôle (photo 10), et même si les femelles des secteurs expérimentaux indiquaient des moyennes légèrement supérieures (0,55 par femelle gravide, par opposition à 0,31 pour les femelles provenant des lacs de contrôle), cette différence n'était pas significative ($X^2 = 0,22, > p\ 0,05$). Cette incidence de résorption constatée au cours de l'étude (5 p.100) est semblable à celle enregistrée par Hawley et Hawley (1975) en 1963 lorsque les niveaux de population du delta étaient élevés.

7.2.3 Répartition selon le sexe

Les informations concernant la répartition des rats musqués selon le sexe pour la zone étudiée furent recueillies en même temps que s'est fait le piégeage des animaux vivants ou morts. Ces données révèlent que la répartition varie beaucoup d'un lac à l'autre (tableau 8) probablement à cause de l'échantillonnage réduit pour chacun des lacs. Le rapport obtenu pour l'ensemble de l'échantillon est de 106 mâles: femelles 100, ce qui est légèrement inférieur à celui observé par Stevens (1955) entre le 2 mars et le 14 mai (118 mâles: femelles 100) dans la même région. Même si notre échantillon n'était pas très gros (221), les résultats de cette étude ont tendance à confirmer les constatations d'autres chercheurs (Stevens 1955, Errington 1966 et Dilworth 1966), à savoir que la prédominance des mâles sur les femelles à la naissance a tendance à se niveler au début de la période de reproduction.

Tableau 7. Rendement reproductif des rats musqués prélevés dans les lacs de la région étudiée en juin 1976

	Lacs d'étude	Lacs de contrôle	Total
Nombre total de femelles	16	23	39
Nombre de femelles gravides	11	16	27
% de femelles pleines	68,8	69,6	69,2
Nombre ayant des embryons résorbés	4	3	7
% avec embryon résorbés	36,4	18,8	25,9
Nombre de cicatrices placentales	0	2	2
% de cicatrices placentales	0	8,7	5,1
Nombre de femelles gravides ou avec cicatrices	11	18	29
% de femelles gravides ou avec cicatrices	68,8	78,3	74,4
Nombre d'embryons	90	140	230
Nombre de cicatrices placentales	0	15	15
Embryons/femelle gravide	8,18	8,75	8,51
Embryons et cicatrices/femelle gravide ou sur le point de mettre bas	8,18	8,61	8,45
Embryons résorbés/femelle gravide	0,55	0,31	0,41
Importance anticipée de la portée moyenne*	7,64	8,33	8,06

*Calculée après avoir tenu compte des résorptions.

7.3 Études d'activité

7.3.1 Incidence de l'abandon des greniers

Au total, 272 greniers furent relevés et notés sur les 14 lacs de la région étudiée au cours du mois de mars 1976. Ce travail fut gêné par la neige épaisse qui se trouvait sur le delta à ce moment de l'année. Les résultats de deux relevés de greniers ne révèlent essentiellement aucun changement dans le nombre de greniers en activité tant sur les lacs expérimentaux que sur les lacs de contrôle, à la suite des activités sismiques (tableau 9). Le changement le plus important observé se produisit entre deux études pré-sismiques même si, encore une fois, la différence n'était pas significative (test Mann Whitney U et test Kruskal-Wallis).

On procéda également à l'analyse de données pour déterminer l'influence de la proximité des lignes sismiques sur l'activité des greniers. Ces données indiquent qu'un accroissement dans la proportion de greniers actifs se produit à des distances supérieures à 180 m des lignes sismiques; cela n'était toutefois significatif que dans le cas du lac D ($X^2 = 10,24$, $P < 0,05$). Cette différence est toutefois significative lorsqu'on procède au groupement des totaux ($X^2 = 14,81$, $P < 0,01$) (tableau 10). La difficulté d'éliminer les autres variables qui peuvent influencer la répartition des greniers abandonnés (profondeur du lac et épaisseur de la glace) vient compliquer l'interprétation de ces résultats, mais il ne semble cependant pas que l'activité sismique influence l'utilisation par les rats musqués des greniers qui se trouvent à moins de 180 m des lignes.

7.3.2 Utilisation des greniers

Des sondes munies de commutateurs furent utilisées pour surveiller électriquement le type et la fréquence d'utilisation des greniers par les rats musqués. La figure 6 présente les calculs faits pour déterminer le niveau d'utilisation des greniers observé en rapport avec l'explosion expérimentale faite sur le lac G, le 10 avril. Les données indiquent qu'alors que les rats musqués continuèrent, après l'explosion, à visiter les sept greniers faisant l'objet d'une observation, il y eut une réduction de 53 p. 100 du nombre de visites par périodes de 24 h. On ignore jusqu'à quel point cette réduction résulte de l'explosion sismique ou si elle fut causée, en partie, par les chercheurs qui ont dérangé les greniers. La collecte des données fut rendue difficile à cause du mauvais fonctionnement de l'équipement et il devint nécessaire d'effectuer des vérifications fréquentes. Pour ce faire, il fallait tous les jours ouvrir les greniers pour inspecter les commutateurs et les remettre en marche au besoin. Les observateurs croient que ces dérangements fréquents ont contribué à l'abandon temporaire des greniers.

7.3.3 Activité de rats musqués individuels

Même si on tenta de fixer des appareils radio sur des rats musqués sur le lac G (avant l'explosion expérimentale) pour observer leur

Tableau 8. Répartition selon le sexe entre les lacs expérimentaux et les lacs de contrôle

Lac	Importance de l'échantillon	Mâles:100 femelles
D	30	114
D_1	35	84
E	54	74
E_1	27	200
F	33	154
F_1	28	133
G	8	33
G_1	6	100
Total	221	106

Les échantillons comprennent tous les animaux piégés tant vivants que morts.

Tableau 9. Sommaire des résultats fournis par les études sur l'activité des greniers

Lac	Pourcentage des greniers actifs		
	1er relevé pré-sismique	2e relevé pré-sismique	Relevé post-sismique
B	42 (31)	32	42
C	39 (33)	39	45
D	50 (26)	46	42
E	50 (30)	-	43
F	64 (28)	54	46
G	78 (9)	67	56
Tous les lacs expérimentaux	50 (157)	44	45
B_1	52 (25)	44	52
C_1	50 (16)	53	53
D_1	50 (34)	47	50
E_1	56 (16)	56	31
F_1	100 (10)	100	90
G_1	50 (14)	50	57
Tous les lacs de contrôle	56 (115)	54	53

Les parenthèses indiquent l'importance de l'échantillon.

Tableau 10. Relation entre la proportion de greniers actifs et la distance des lignes sismiques

Distance	Actif	Inactif	% Actif	Actif	Inactif	% Actif	Actif	Inactif	% Actif
		LAC B			LAC D			LAC E	
<60 m	9	9	47	6	15	29	2	7	18
60-120 m	6	18	25	6	12	33	4	11	27
120-180 m	3	11	21	2	11	15	4	9	31
180-240 m	4	3	57	4	2	67	1	1	50
>240 m	0	2	0	8	4	67	7	7	50
TOTAL	22	43	33	26	44	37	18	35	34
		LAC F			LAC G			TOUS LES LACS	
< 60 m	6	14	30	2	9	18	25	54	32
60-120 m	5	8	38	3	2	60	24	51	32
120-180 m	5	6	45	3	2	60	17	39	30
180-240 m	7	5	58	2	1	67	18	12	60
>240 m	4	2	67	1	1	50	20	16	56
TOTAL	27	35	44	11	15	42	104	172	37

Données obtenues à partir des résultats des relevés post-sismiques et greniers observés au cours du relevé du 28 au 30 avril.

Figure 6. Calcul de la fréquence d'utilisation des greniers par les rats musqués avant et après l'explosion expérimentale sur le lac G. Les calculs furent établis sur une base d'intervalles de 15 minutes.

ACTIVITÉ PRÉ-SISMIQUE

7 greniers observés pendant 63,75 heures = 446,25 heures d'observation

pour 129,50 heures de cette période, on savait ou on présumait que les commutateurs ne fonctionnaient pas*

446,25 - 129,50 = 316,75 heures de fonctionnement

Pendant ce temps, 55 visites distinctes furent notées

55 visites ÷ 316,75 heures = 0,17 visites à l'heure
soit 4,17 visites par période de 24 heures.

ACTIVITÉ POST-SISMIQUE

7 greniers observés pendant 101,25 heures = 708,75 heures d'observation

pour 318,25 heures de cette période, on savait ou on présumait que les commutateurs ne fonctionnaient pas.*

708,75 - 318,25 = 390.50 heures de fonctionnement

Pendant ce temps, 36 visites distinctes furent notées

36 visites ÷ 389,59 heures = 0,09 visites à l'heure
soit 2,21 visites par période de 24 heures.

---

* Comprend les périodes où les commutateurs furent débranchés et les périodes où on présumait que les commutateurs étaient gelés (étant donné qu'on croyait que le gel des commutateurs avait un rapport avec la fréquentation des greniers par les rats musqués, on n'a pas tenu compte de la période de temps à partir de la dernière visite notée).

comportement avant, pendant et après l'évènement, des difficultés d'ordre logistique ont empêché la collecte de données par ce moyen. Le projet ne devrait toutefois pas être abandonné pour les études futures, surtout en ce qui a trait à l'interprétation des résultats des études concernant l'utilisation des greniers.

7.4 Autres effets

La mise en place des lignes sismiques et la circulation des véhicules n'ont pas semblé nuire aux terriers riverains existants ou nouvellement établis. Dans trois cas, des terriers riverains actifs furent notés sur des lignes sismiques (photo 11). On n'a observé aucun terrier abandonné à de tels endroits. On a toutefois observé la destruction de certains greniers, par inadvertance, lorsque l'équipement lourd traversait les lacs.

Même si les arbres qui se trouvaient sur le tracé des lignes sismiques prennent du temps à repousser, le recouvrement du sol, notamment les bosquets, n'est pas sérieusement touché (photo 12). Les lignes sismiques tracées en mars et en avril étaient entièrement recouvertes en juin. Il semble que les véhicules sismiques qui utilisent les lignes (y compris les tracteurs à chenilles) ne font que comprimer de façon temporaire ce type de végétation.

8. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

(a) L'explosion sismique suscite des changements de pression instantanés relativement faibles dans l'eau. Des effets pathologiques mineurs furent observés chez des rats musqués placés à 15 m des trous de mine où l'on avait placé des charges de Géogel de 22,6 kg (50 lb) et de 11,3 kg (25 lb); les rats musqués exposés à des explosions à des distances de 30m et plus ne semblent pas avoir été affectés. La lésion principale constatée à la suite d'une explosion fut une hémorragie provenant de l'engrenure de l'oreille moyenne. Ce phénomène fut observé chez les rats musqués placés tant dans l'eau que dans des terriers riverains simulés, au cours de l'explosion, et était manifestement influencé par divers facteurs, notamment l'orientation du corps au moment de l'impact et la projection du bouchon du trou de mine. Aucune des blessures décelées ne pouvait causer la mort ou un ébranlement de longue durée.

(b) Les résultats du piégeage d'animaux vivants confirment la conclusion précédente, à savoir qu'il ne s'est produit aucun changement de population, tant dans les lacs expérimentaux que dans les lacs de contrôle, à la suite de l'explosion sismique.

(c) Nous avons pu démontrer que le stress, comme celui causé par le maintien en captivité des rats musqués ou par un piégeage et une manutention fréquentes, était associé à un poids accru des glandes surrénales et par l'hypertrophie de la zona fasciculata. Des changements semblables ne furent pas décelés toutefois chez les rats musqués recueillis dans les lacs de la région étudiée après l'explosion sismique. Cela indique que, à moins que les glandes surrénales ne soient pas un indice valable du stress à long terme chez les rats musqués, les animaux dans les lacs exposés aux explosions ne connurent pas de situation prolongée de stress.

(d) L'observation de 272 greniers de rats musqués a révélé que l'exploration sismique n'a pas accru de façon significative le taux d'abandon des greniers sur les lacs étudiés. Il y eut toutefois certains indices d'impact local près des lignes sismiques (c'est-à-dire à moins de 180 m). L'observation de l'activité des rats musqués dans les greniers individuels suggère également un fléchissement de la fréquence d'utilisation des greniers rapprochés des trous de mine; toutefois, il sera nécessaire de mieux documenter cette question avant de pouvoir tirer des conclusions définitives.

(e) L'examen des femelles gravides prises en juin 1976 n'a révélé aucune différence marquée dans le rendement reproductif entre les lacs exposés aux explosions sismiques et les lacs de contrôle, soit en termes de fréquence de gestation, du nombre d'embryons ou de l'incidence de résorptions d'embryons. Ces résultats devraient toutefois être interprétés avec réserve, étant donné qu'il est possible que plusieurs des animaux recueillis aient participé aux déplacements de population qui suivent la fonte des glaces au printemps.

(f) Alors qu'un petit nombre de greniers fut détruit par inadvertance par le passage d'équipement lourd sur les lacs, les autres activités associées à l'exploration sismique, y compris la mise en place des lignes, la construction des rampes de neige sur les barges et sur les rives des lacs et des ruisseaux, et les travaux de forage, ne semblaient pas menacer le bien-être des rats musqués. On ignore toutefois les modifications de comportement chez les rats musqués exposés au bruit et à ce genre d'activité.

(g) En s'appuyant sur nos constations à ce jour, nous avons pu conclure de façon préliminaire que, si l'on se place dans la perspective de la survie du rat musqué, les règlements concernant l'utilisation des terres et les pratiques d'exploration sismique présentement en usage sont acceptables. Nous recommandons que le règlement actuel défendant les explosions à moins de 12,2 m (40 p) des cours d'eau soit maintenu. On devrait envisager l'adoption de règlements semblables pour régir l'importance des charges utilisées dans le delta, étant donné que la technologie semble maintenant au point pour obtenir des renseignements sismiques en utilisant des charges inférieures à 11 kg (25 lb).

9. NÉCESSITÉ DE POURSUIVRE LES ÉTUDES

Au cours de la première année d'étude, certains des objectifs n'ont pas complètement été atteints; certains autres problèmes ont été identifiés et nécessiteraient un examen supplémentaire avant de pouvoir en apprécier pleinement l'importance.

Alors que les résultats des effets directs des expériences et des études de population nous ont permis de conclure avec assez de certitude que les explosions sismiques ne tuent pas directement les rats musqués, on a observé des différences considérables dans les effets de l'explosion sur les animaux ayant servi à l'expérience. Une réplique de ces essais serait nécessaire pour mieux déterminer les tolérances et les réactions individuelles des rats musqués aux explosions sismiques. On utiliserait une instrumentation permettant de mesurer avec exactitude les changements de pression d'air dans les terriers riverains et dans les greniers à diverses distances des trous de mine.

Les données obtenues à ce jour sur le sort des greniers dans les lacs touchés par l'exploration sismique sont équivoques. Des observations additionnelles seraient souhaitables et permettraient de constituer des échantillons suffisamment importants pour apprécier avec certitude l'importance de l'impact.

Nous manquons surtout de données sur les réactions (comportement) des rats musqués aux perturbations sismiques. Le point de vue adopté et l'équipement utilisé en 1976 ne pouvaient pas nous permettre de recueillir ce genre de renseignements. Il semble que la meilleure façon d'obtenir ces données consisterait à procéder à une observation détaillée par télémesure des activités de certains rats musqués.

Il est évident que la réalisation de ces études nécessitera un engagement très important de la part de la société d'exploration en cause. Si l'on envisage d'entreprendre des études supplémentaires de ce genre, les négociations entre tous les organismes intéressés devraient commencer bien avant la date prévue de ces travaux.

10. BIBLIOGRAPHIE

Barrington, E.J.W. 1975. An Introduction to General and Comparative Endocrinology. 2e édition. Claredon Press, Oxford.

Baumgartner, L.L. et F.C. Bellrose, fils. 1943. « Determination of sex and age in muskrats ». J. Wildl. Mgmt. 7:77-81.

Beer, J.R. et R.K. Meyer. 1951. « Seasonal changes in the endocrine organs and behavior patterns of the muskrat ». J. Mammal. 32:173-191.

Chapman, D.G. 1948. « A mathematical study of confidence limits of salmon populations calculated from sample tag ratios ». International Pacific Salmon Fisheries Comm. Bull. 2:69-85.

Chapman, D.G. et W.S. Overton. 1966. « Estimating and testing difference between population levels by the Schnabel estimation method ». J. Wildl. Mgmt. 30:173-180.

Cole, R.H. 1948. Underwater Explosions. Dover Publications Inc., New York, 1965, éd. 437 p.

Dilworth, T.G. 1966. The life history and ecology of the muskrat under severe water level fluctuations. Thèse non publiée de maitrise en sciences, Université de la Colombie-Britannique. 125 p.

Douglas, R.J.W. (éd.) 1969. La géologie et les minéraux économiques du Canada. Commission géologique du Canada. Premier rapport sur la géologie économique.

Errington, P.L. 1963. Muskrat Populations. Iowa State University Press, Ames, Iowa. 665 p.

Falk, M.R. et M.J. Lawrence. 1973. L'exploration sismique: son caractère et son impact sur le poisson. Ministère de l'Environnement du Canada, Service de la pêche et de la mer, Winnipeg. Rapport technique no. CEN/T-73-9. 51 p.

Fuller, W.A. 1951a. « Measurement and weights of northern muskrats ». J. Mammal. 32:360-361.

Fuller, W.A. 1951b. Histoire naturelle et importance économique du rat musqué dans le delta des rivières de la Paix et d'Athabasca, parc Wood Buffalo. Service canadien de la faune, Bulletin de gestion de la faune, série 1, no. 2, 80 p.

Hawley, V.D. et L.A. Hawley. 1975. La gestion du rat musqué dans le delta du Mackenzie. Service canadien de la faune, rapport non publié.

Hubbs, C.L. et A.B. Rechnitzer. 1952. « Report on experiments designed to determine effects of underwater explosions on fish life ». California Fish and Game 38:333-366.

Kearns, R.K. et F.C. Boyd. 1965. « The effect of marine seismic explorations on fish populations in British Columbia coastal waters ». Canadian Fish Culturist 32:3-26

MacKay, J.R. 1963. La région du Delta du Mackenzie, T.N.-O. Ministère des Mines et des Relevés techniques, Direction de la géologie, mémoire 8.

Martin, M. 1974. Effects of seismic activity on muskrat populations. Division de la gestion du givier, Inuvik, administration des T.N.-O., rapport non publié.

Olsen, P.F. 1959. Dental patterns as age indicators in muskrats. J. Wildl. Mgmt. 23:228-231.

Overton, W.S. 1965. « A modification of the Schnabel estimator to account for removal of animals from the population ». J. Wildl. Mgmt. 29:392-395.

Overton, W.S. et D.E. Davis. 1969. « Estimating the numbers of animals in wildlife population ». Chap. 22 in: R.H. Giles. Wildlife Management Techniques. 3e éd. The Wildlife Society. Washington, D.C. p.p. 403-455.

Parasnis, D.S. 1966. Mining Geophysics. Elsevier Publishing Company, Amsterdam, 1966 éd. 356 p.

Paterson, C.G. et W.R. Turner. 1968. « The effect of underwater explosion of fish of Wentzel Lake, Alberta ». Can. Field-Nat. 82:219-220.

Rausch, R.L. 1973. Post mortem findings in some marine mammals and birds following the Cannikin test on Amchitka Island. U.S. Health Service Arctic Health Research Centre, Fairbanks, Alaska. 86 p.

Selye, H. 1957. The Stress of Life. Longmans, London.
Service de la pêche et de la mer, Direction de la gestion des ressources. Section de l'application des règlements, région centrale 1975. Colloque sur les activités sismiques au large des côtes, Yellowknife, T.N.-O. 104 p.

Steven, M.T. 1976. The value of relative organ weights. Toxicology, 5:311-318.

Stevens, W.E. 1955. Adjustments of the northwestern muskrat (Ondatra zibethicus spatulatus) to a northern environment. Thèse non publiée de Ph. D., Université de Colombie-Britannique. 194 p.

Westworth, D.A. 1974. Ecology of the muskrat (Ondatra zibethicus spatulatus) on the Peace-Athabasca Delta, Wood Buffalo National Park. Thèse non publiée de maitrise en sciences, Université de l'Alberta. 147 p.

PHOTOGRAPHIES

Photo 1. Les lacs de la région étudiée sont habituellement petits et peu profonds. Le Picea glauca est l'essence dominante.

Photo 2. La végétation des rives se compose principalement d'Alnus, de Salix et d'herbes. Les berges sont habituellement abruptes, par suite de l'action de thermokarstie.

Photo 3. Instruments utilisés pour mesurer les changements de pression dans l'eau (hydrophones).

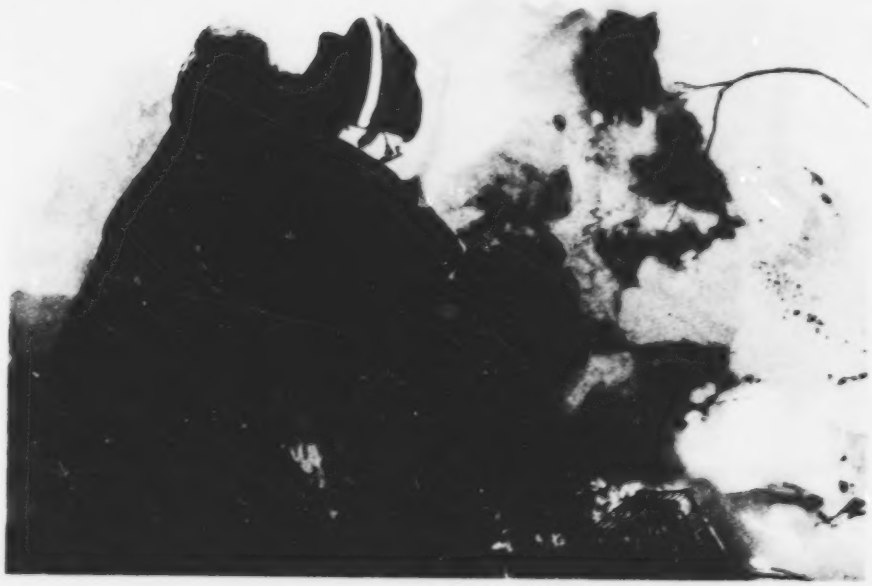


Photo 4. Rats musqués placés dans un terrier riverain pour déterminer les effets pathologiques des explosions sismiques.

Photo 5. Des animaux furent submergés à un mètre sous la surface de la glace pendant les explosions expérimentales. Ils demeurèrent immergés pendant 45 secondes.

Photo 6. Les pièges servant à capturer les animaux vivants dans les greniers étaient isolés au moyen de mousse de styrène et recouverts d'une épaisse couche de neige.

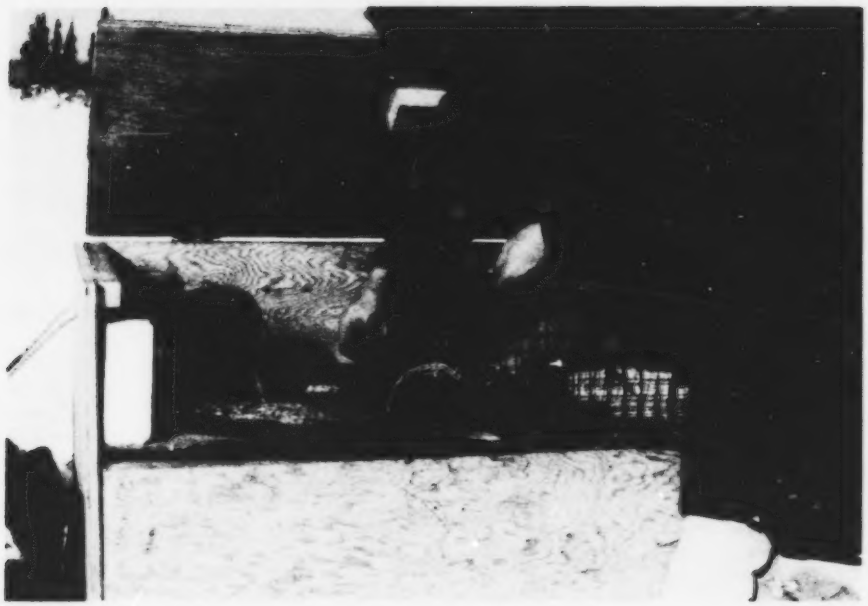


Photo 7. Une boîte de contreplaqué chauffée fut utilisée pour améliorer l'environnement immédiat du rat musqué pendant le baguage.

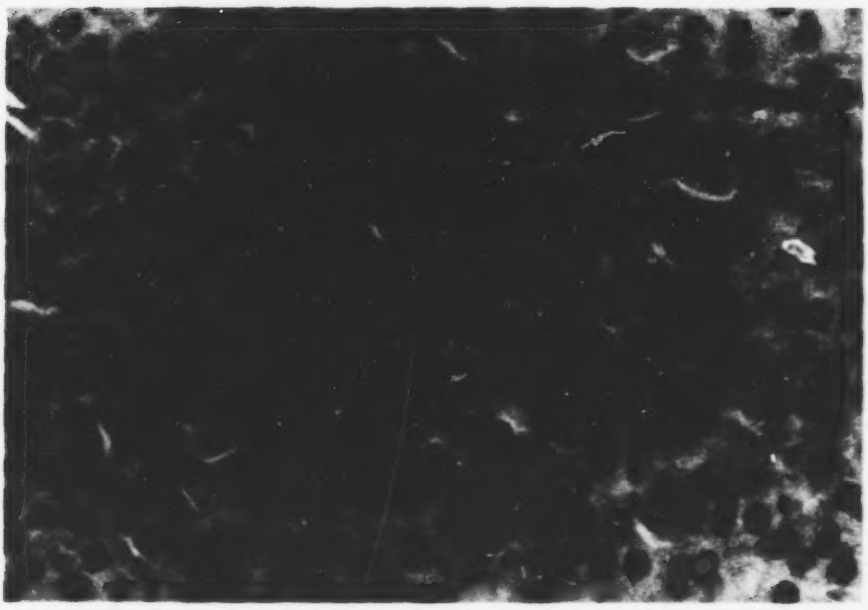


Photo 8. Section histologique d'une glande surrénale d'un animal non stressé (120X).

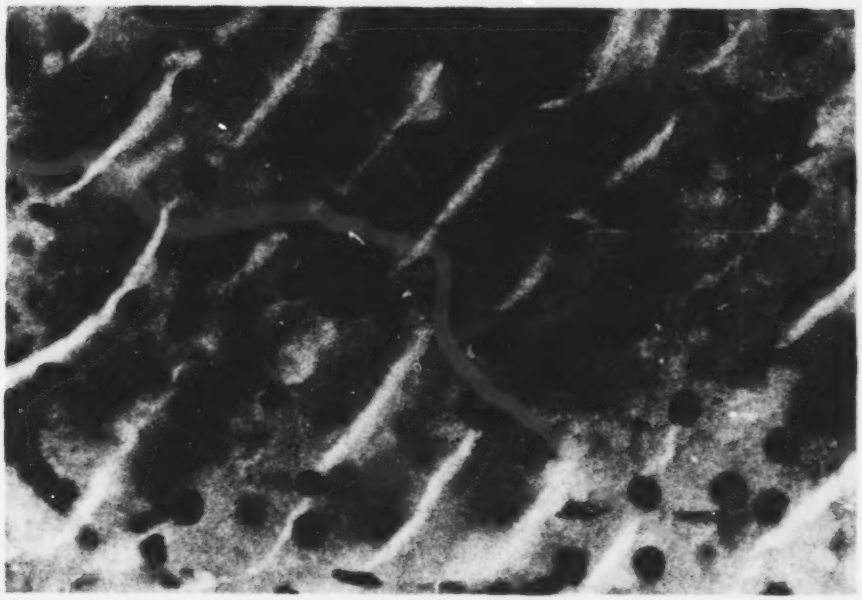


Photo 9. Section histologique d'une glande surrénale d'un rat musqué stressé (120X). L'hypertrophie cellulaire à l'intérieur de la zona fasciculata est évidente.

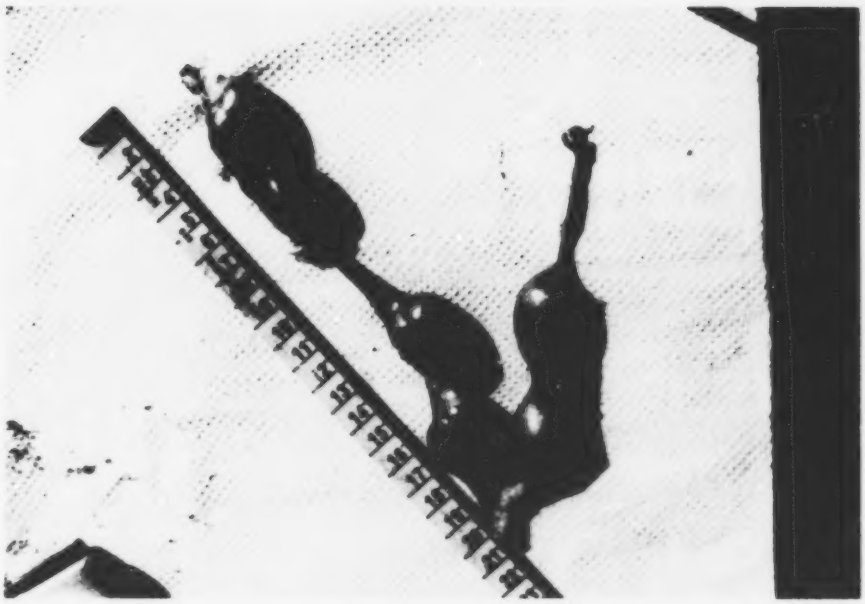


Photo 10. Utérus de rat musqué avec deux embryons résorbés. On a constaté des résorptions chez 26 p.100 de toutes les femelles gravides.

Photo 11. Terrier riverain actif situé sur le tracé d'une ligne sismique.

Photo 12. Le sol et les arbustes sont virtuellement intacts sur le tracé d'anciennes lignes sismiques utilisées de nouveau deux mois avant la prise de cette photo.

Appendice I. Sommaire comparatif des renseignements météorologiques sur Inuvik

	1974	1975	1976	Moyenne ajustée 1941 - 1970
Température journalière moyenne (°C)				
Mars	-26,8	-20,7	-26,0	-23,8
Avril	-18,2	-13,6	-8,4	-14,5
Mai	-0,6	0,0	1,1	-0,8
Juin	7,1	10,6	8,9	9,8
Température moyenne journalière maximale (°C)				
Mars	-20,5	-14,6	-19,6	-17,7
Avril	-11,6	-7,1	-2,1	-7,9
Mai	5,4	4,5	6,2	3,9
Juin	13,1	16,7	14,9	16,0
Température minimale journalière moyenne (°C)				
Mars	-32,9	-26,7	-32,3	-30,0
Avril	-24,8	-20,2	-14,6	-21,2
Mai	-6,5	-4,6	-4,0	-5,7
Juin	1,1	4,5	2,8	3,7
Précipitation totale moyenne (mm)				
Mars	0,5	6,3	11,3	16,5
Avril	2,5	21,8	1,2	14,0
Mai	2,5	8,4	61,6	17,5
Juin	18,3	21,1	29,2	12,0
Précipitation de neige moyenne (cm)				
Mars	0,8	11,4	12,4	18,5
Avril	4,1	23,6	2,7	15,0
Mai	2,8	7,6	21,6	14,0
Juin	7,6	Trace	3,0	2,3
Epaisseur de la neige (cm)				
31 janvier	25	58	51	
28 février	28	61	53	
31 mars	28	71	56	
30 avril	28	61	23	

APPENDICE II. Calcul de l'importance de la population sur les quatre lacs étudiés

Les estimations de population suivantes ont été établies en utilisant la formule Schnabel (Chapman et Overton 1966). On n'a pas tenté ici de modifier la formule pour tenir compte de la collecte de spécimens marqués et non marqués (Overton (1965).

En établissant les indices d'estimation pré-sismiques (*) et post-sismiques (**), nous utilisons

$X_i = \Sigma X_i$ = total cumulatif des animaux marqués capturés

$\lambda = \Sigma n_i M_i$

où

X_i = le nombre d'animaux marqués capturés à la période i

n_i = le nombre total d'animaux capturés à la période i

M_i = le nombre d'animaux marqués dans la population à la période i

donc

$\hat{N} = \frac{\lambda}{X_1 + 1}$ = estimation de population pour la période i

en supposant que les animaux marqués et non marqués ont autant de chances d'être capturés.

Tableau 11. Calcul des niveaux de population sur les lacs E et E_1 par la formule Schnabel

Période de piégeage	n_i	m_i	M_i	n_iM_i	$\Sigma n_iM_i=\lambda$	x_i	X_i	$\frac{\lambda}{X_i+1}=\hat{N}$
LAC E								
Pré-sismique								
1	2	2	0	0				
2	3	3	2	6	6	0	0	
3	5	5	5	25	31	0	0	
4	7	6	10	70	101	1	1	51
5	7	5	16	112	213	2	3	53
6	4	2	21	84	297	2	5	50
7	3	2	23	69	366	1	6	52
8	6	1	25	150	516	2	8	57
9	5	2	26	130	646	3	11	54*
Post-sismique								
10	9		28	252	898	6	17	50
11	6		22	132	1030	2	19	52
12	8		20	160	1190	2	21	54
13	9		16	144	1334	4	25	51
14	3		12	36	1370	1	26	51
15	4		11	44	1414	1	27	51**
LAC E_1								
Pré-sismique								
1	3	3	0					
2	3	2	3	9	9	0		
3	4	4	5	20	29	0		
4	5	4	9	45	74	1	1	37
5	5	4	13	65	139	1	2	46
6	4	2	17	68	207	2	4	41
7	5	2	19	95	302	3	7	38
8	5	0	21	105	407	4	11	34
9	3	1	21	63	470	2	13	34*
Post-sismique								
10	4		22	88	558	4	17	31
11	2		18	36	594	2	19	30
12	3		16	48	642	2	21	29
13	4		14	56	698	1	22	30
14	1		13	13	711	1	23	30
15	1		12	12	723	1	24	29**

Tableau 12. Calcul des niveaux de population sur les lacs F et F_1 par la formule Schnabel

Période de piégeage	n_i	m_i	M_i	$n_i M_i$	$\Sigma n_i M_i = \lambda$	x_i	X_i	$\frac{\lambda}{X_i + 7} = \hat{N}$
LAC F								
Pré-sismique								
1	3	3						
2	7	7	3	21		0		
3	6	4	10	60	81	2	2	27
4	6	3	14	84	165	3	5	28
5	6	1	17	102	267	5	10	24
6	6	3	18	108	375	3	13	27*
Post-sismique								
7	8		21	168	543	2	15	34
8	4		19	76	619	0	15	39
9	3		19	57	676	1	18	36
10	3		18	54	730	2	20	35
11	4		16	64	794	4	24	32
12	3		12	36	830	2	26	31
13	2		10	20	850	1	27	30**
LAC F_1								
Pré-sismique								
1	3	1						
2	3	3	1	3		0		
3	4	4	4	16	19	0		
4	3	3	8	24	43	0		
5	0	0	11	0	43	0		
6	3	2	11	33	76	1	1	33*
Post-sismique								
7	3		13	39	115	2	3	29
8	6		11	66	181	3	6	26
9	2		8	16	197	1	7	25
10	3		7	21	218	0	7	27
11	5		7	35	253	3	10	23
12	3		4	12	265	1	11	22
13	2		3	6	271	0	11	23**

Des limites de tolérance (95 p. 100) furent déterminées en adoptant l'hypothèse que X_i a approximativement une distribution Poisson avec une moyenne de $\lambda/\hat{N}$, donc

$$P\left[\underline{X} \leq \frac{N}{\lambda} \leq \overline{X}\right] = 1-\alpha$$

lorsque $\underline{X}$ et $\overline{X}$ représentent les limites de tolérance inférieures et supérieures.

Ainsi, les limites de tolérance pour les estimations obtenues au cours de la présente étude sont les suivantes:

Lac E pré-sismique $\hat{N} = 54$

$$(646)(.0443) \leq N \leq (646)(.165)$$
$$28.62 \leq N \leq 106.59$$

post-sismique $\hat{N} = 51$

$$(1414)(.02408) \leq N \leq (1414)(.0539)$$
$$34.05 \leq N \leq 76.21$$

Lac E_1 pré-sismique $\hat{N} = 34$

$$(470)(.0400) \leq N \leq (470)(.133)$$
$$18.80 \leq N \leq 62.51$$

post-sismique $\hat{N} = 29$

$$(723)(.02632) \leq N \leq (723)(.0620)$$
$$19.03 \leq N \leq 44.83$$

Lac F pré-sismique $\hat{N} = 27$

$$(375)(.0400) \leq N \leq (375)(.133)$$
$$15.00 \leq N \leq 49.88$$

post-sismique $\hat{N} = 30$

$$(850)(.02408) \leq N \leq (850)(.0539)$$
$$20.47 \leq N \leq 45.82$$

Lac F_1 pré-sismique $\hat{N} = 38$

$$(76)(.0720) \leq N \leq (76)(19.489)$$
$$5.47 \leq N \leq 1481.16$$

post-sismique $\hat{N} = 23$

$$(271)(.0443) \leq N \leq (271)(.165)$$
$$12.01 \leq N \leq 44.72$$

Limites de tolérance tirées de Chapman (1948).

APPENDICE III

CARTES DES LACS ÉTUDIÉS

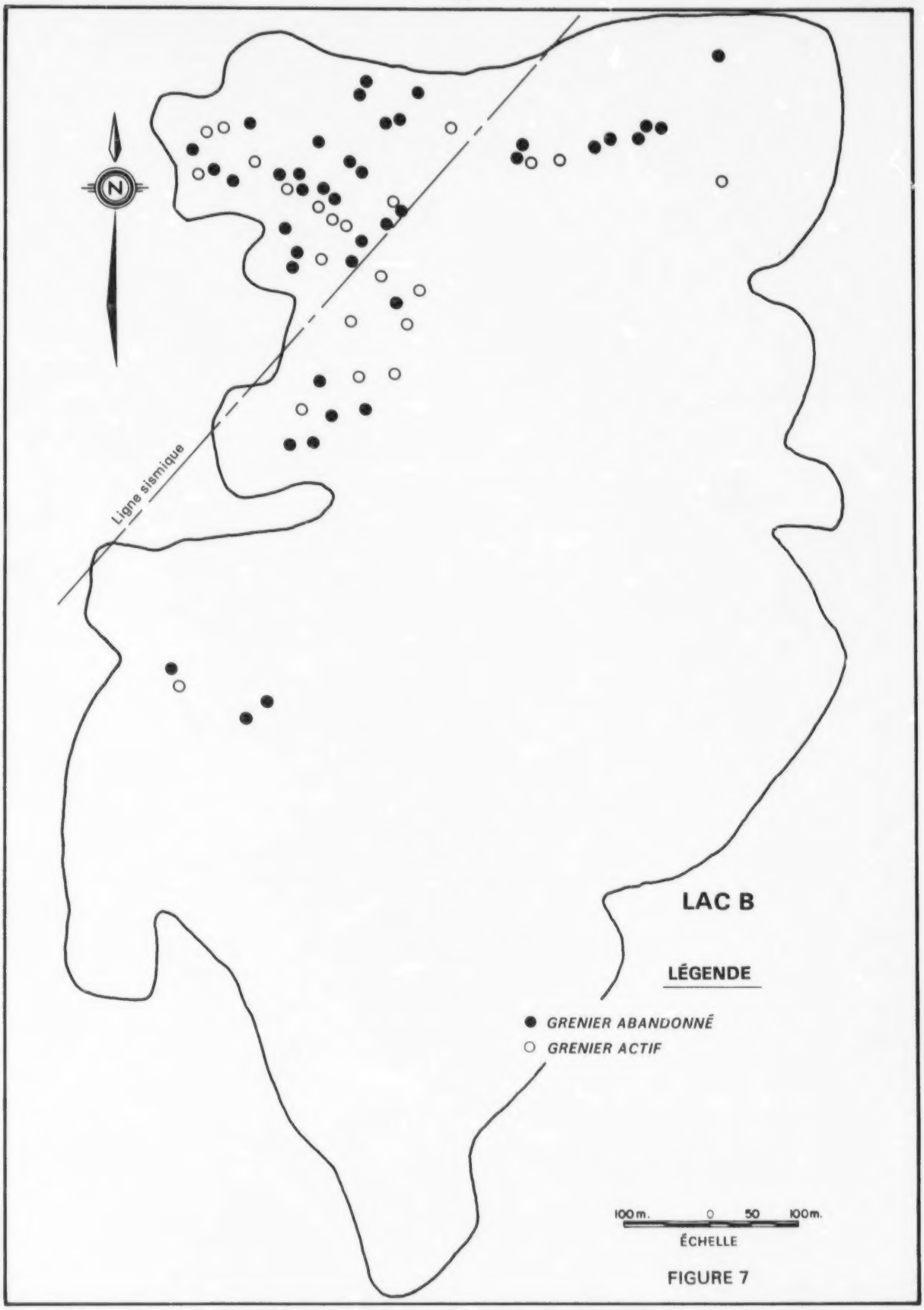

N
Ligne sismique
LAC B
LÉGENDE
GRENIER ABANDONNÉ
GRENIER ACTIF
100 m. 0 50 100 m.
ÉCHELLE

FIGURE 7

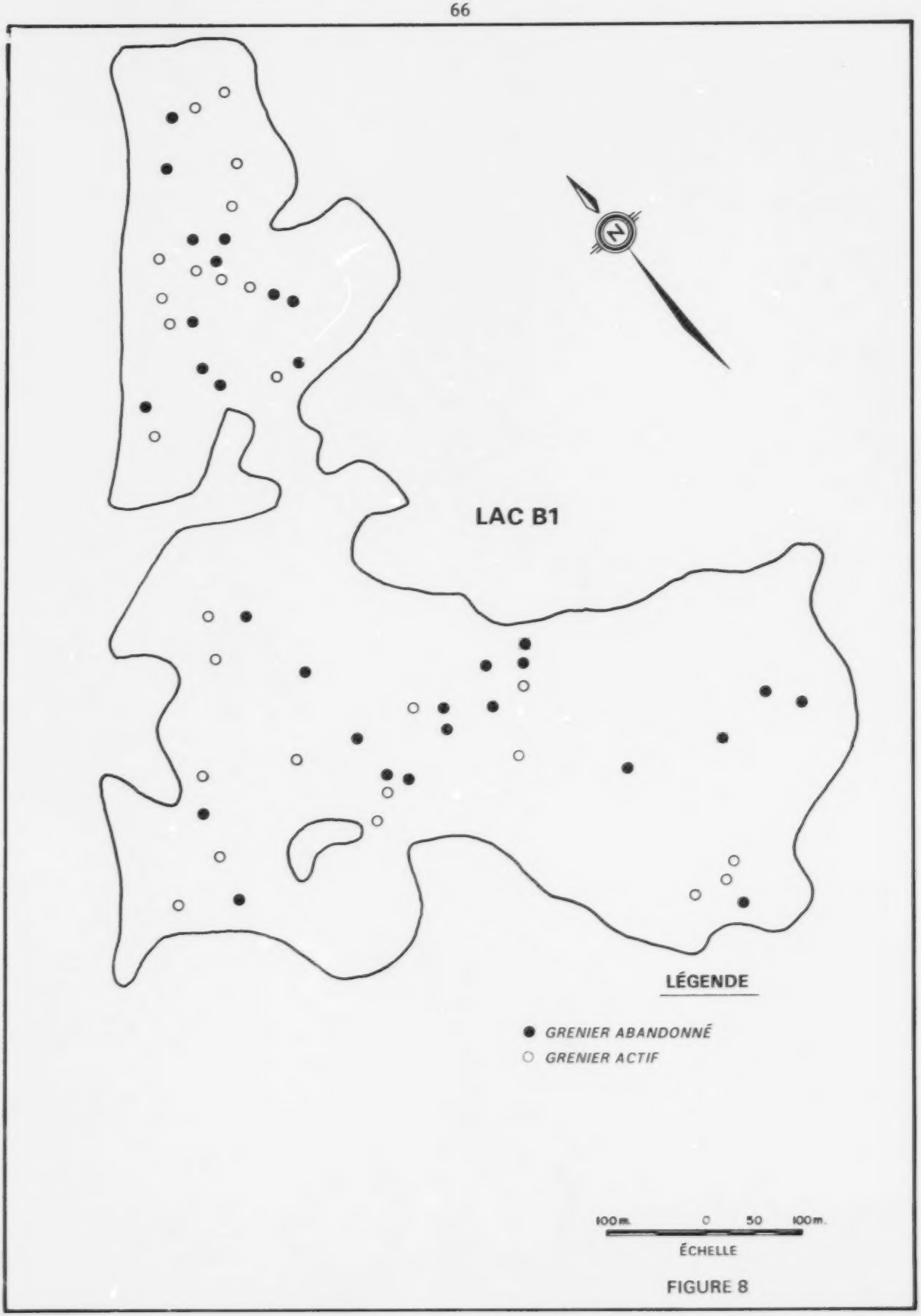
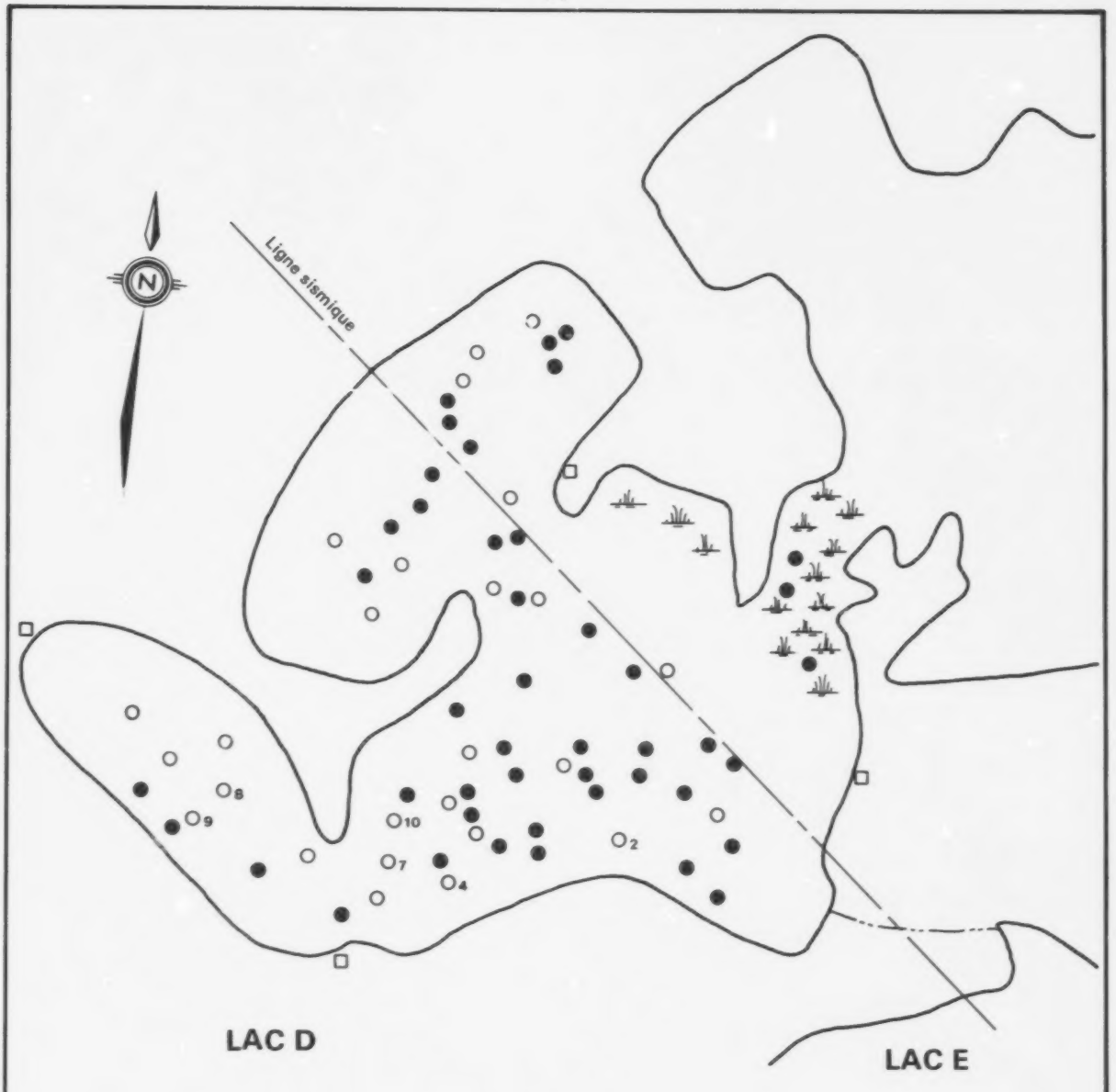

N
LAC B1
LÉGENDE
GRENIER ABANDONNÉ
GRENIER ACTIF
100m. 0 50 100m.
ÉCHELLE

FIGURE 8



LÉGENDE

- ● *GRENIER ABANDONNÉ*
- ○ *GRENIER ACTIF*
- □ *TERRIER RIVERAIN ACTIF CONNU*

LES GRENIERS NUMÉROTÉS FIRENT L'OBJET D'UN PIÉGEAGE D'ANIMAUX VIVANTS

100 m 0 50 100 m

ÉCHELLE

FIGURE 9

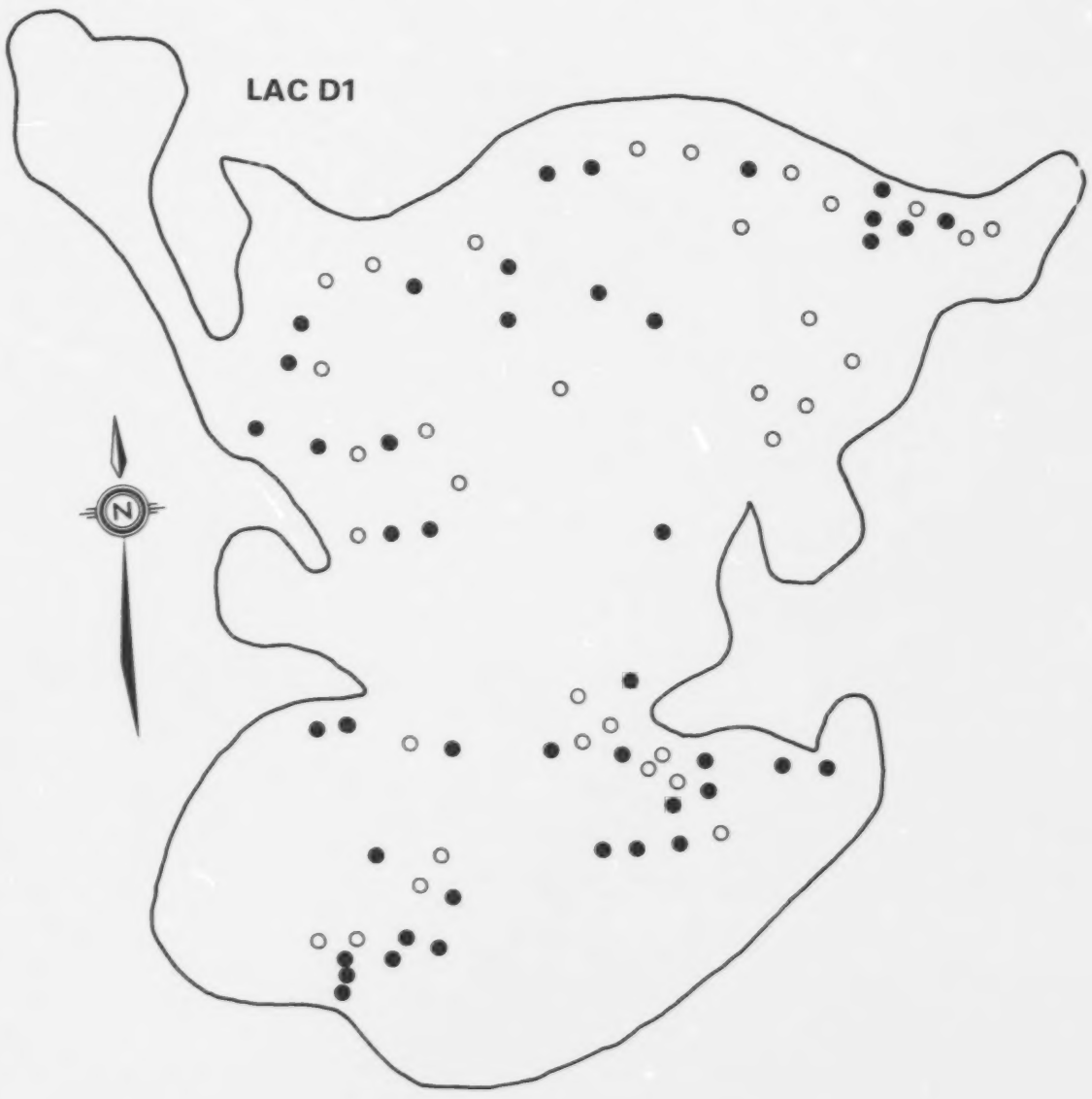
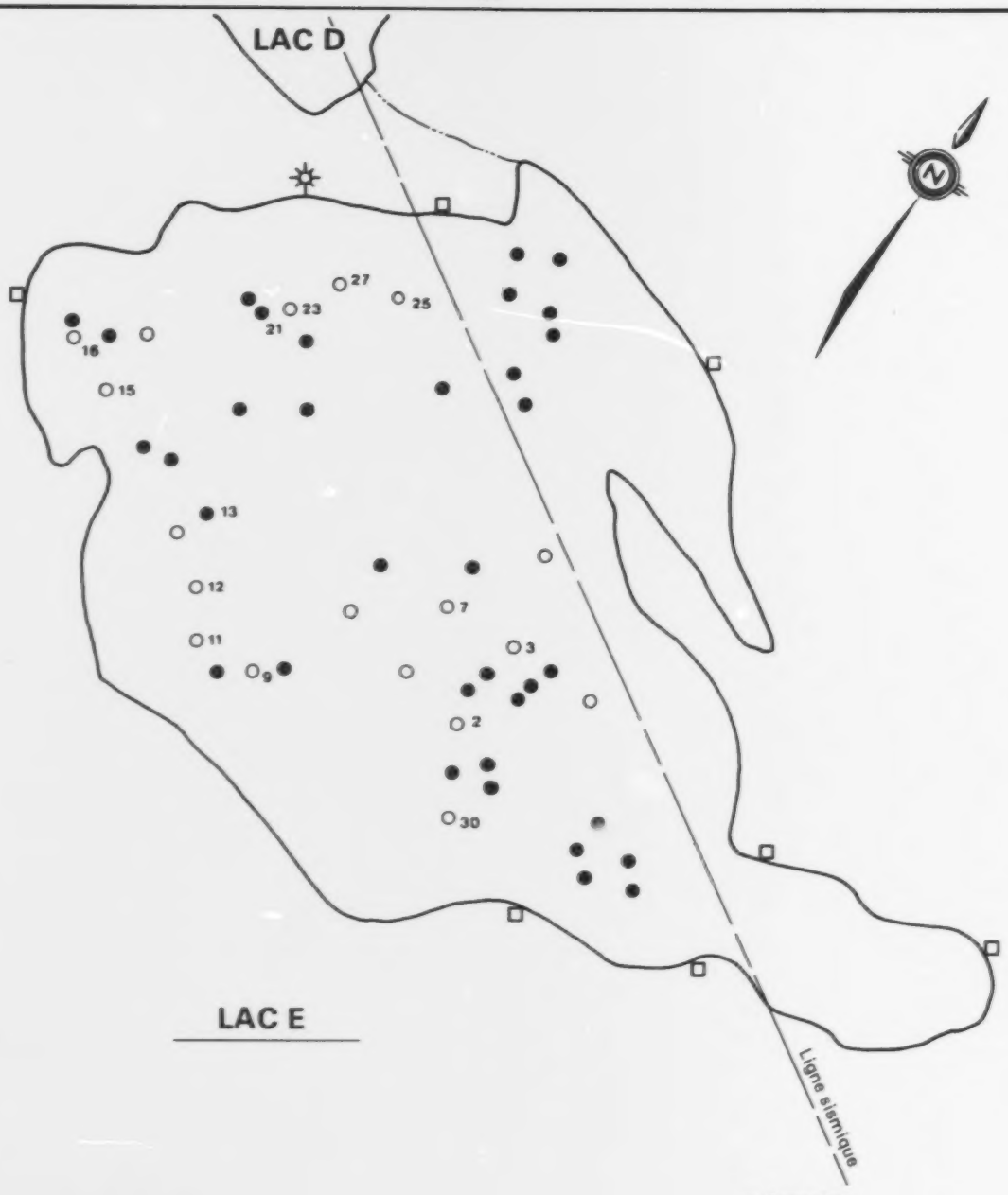

LAC D1
N
LÉGENDE
GRENIER ABANDONNÉ
GRENIER ACTIF
100 m.
0
50
100 m.
ÉCHELLE

FIGURE 10



LÉGENDE

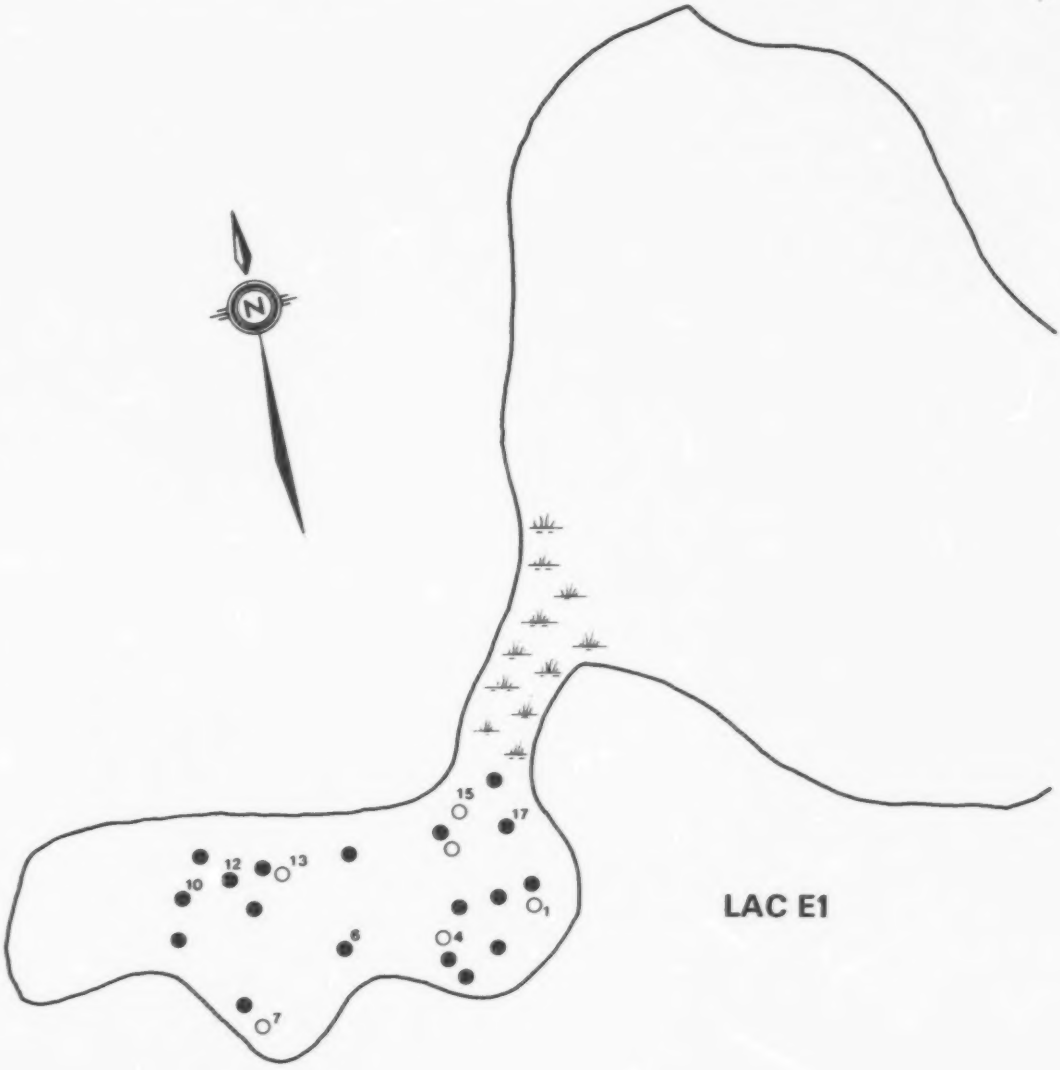
- ● *GRENIER ABANDONNÉ*
- ○ *GRENIER ACTIF*
- □ *TERRIER RIVERAIN ACTIF CONNU*
- ☼ *TROU DE MINE EXPÉRIMENTAL*

LES GRENIERS NUMÉROTÉS FIRENT L'OBJET D'UN PIÉGEAGE D'ANIMAUX VIVANTS

100 m 0 50 100 m.

ÉCHELLE

FIGURE 11



LÉGENDE

- ● *GRENIER ABANDONNÉ*
- ○ *GRENIER ACTIF*

LES GRENIERS NUMÉROTÉS FIRENT L'OBJET D'UN PIÉGEAGE D'ANIMAUX VIVANTS

100 m 0 50 100 m

ÉCHELLE

FIGURE 12

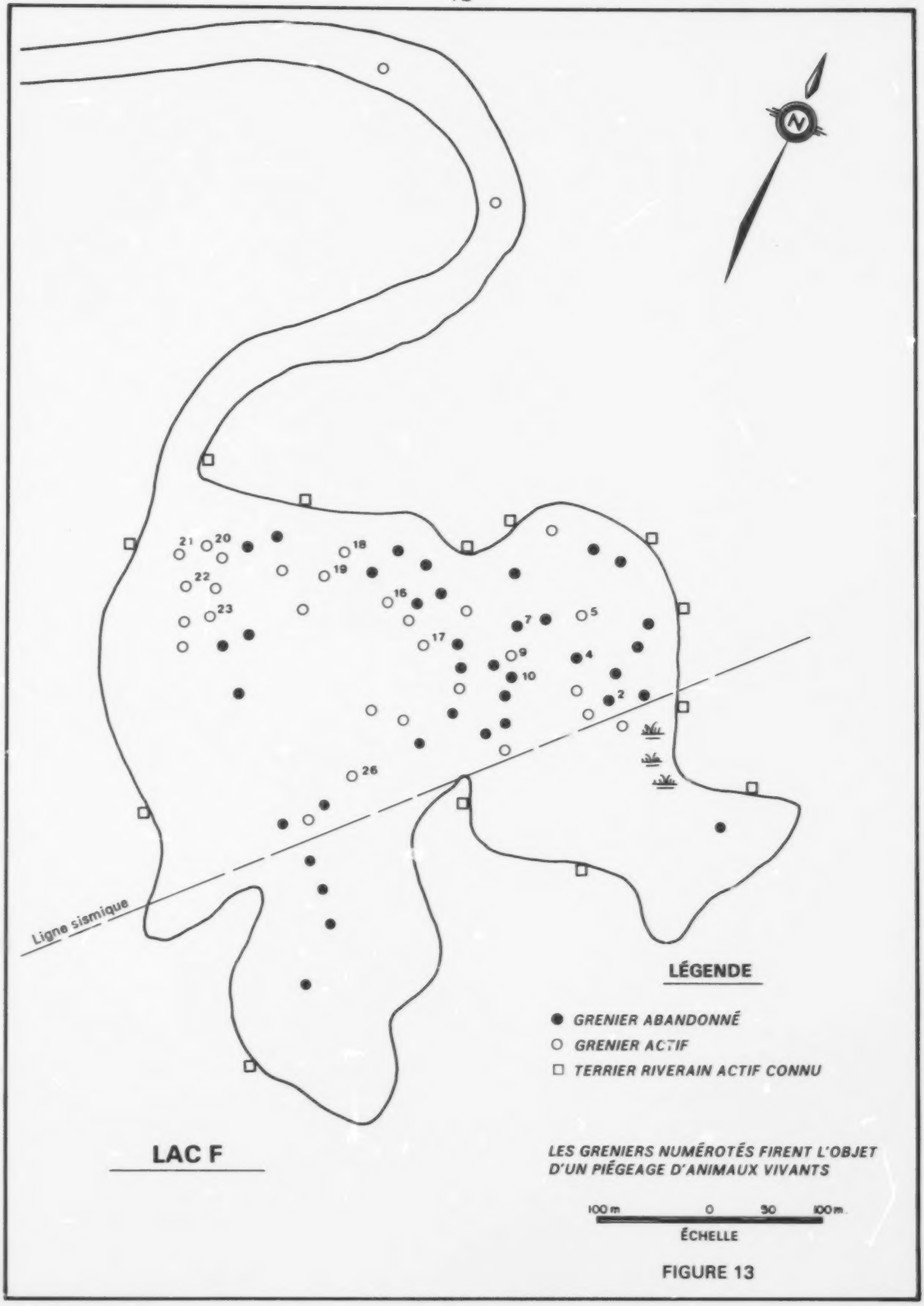
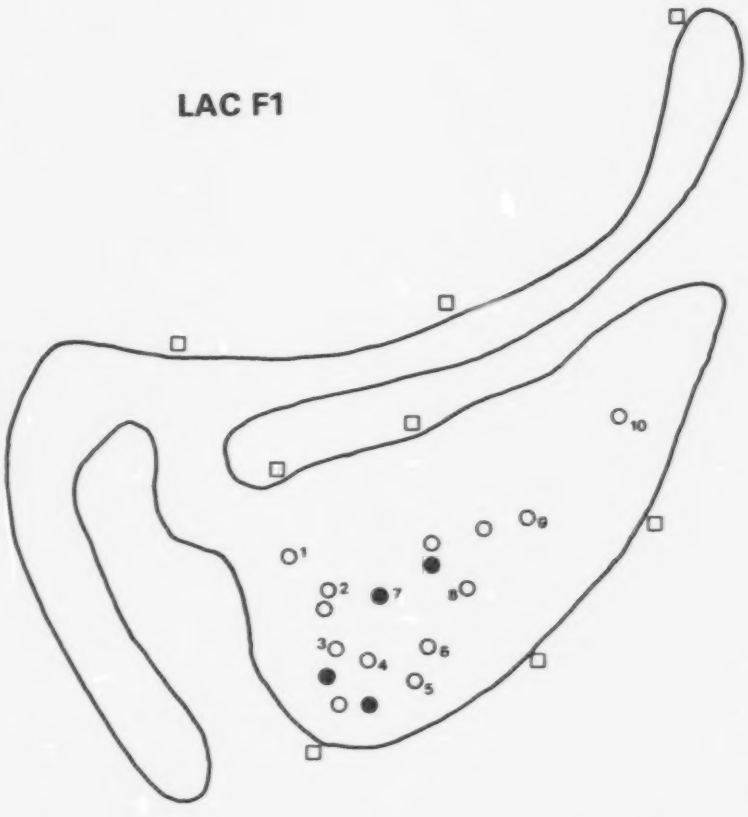

21
20
18
19
22
16
23
7
5
17
9
4
10
2
26
Ligne sismique
LÉGENDE
GRENIER ABANDONNÉ
GRENIER ACTIF
TERRIER RIVERAIN ACTIF CONNU
LAC F
LES GRENIERS NUMÉROTÉS FIRENT L'OBJET D'UN PIÉGEAGE D'ANIMAUX VIVANTS
100 m
0
50
100 m
ÉCHELLE

FIGURE 13



LÉGENDE

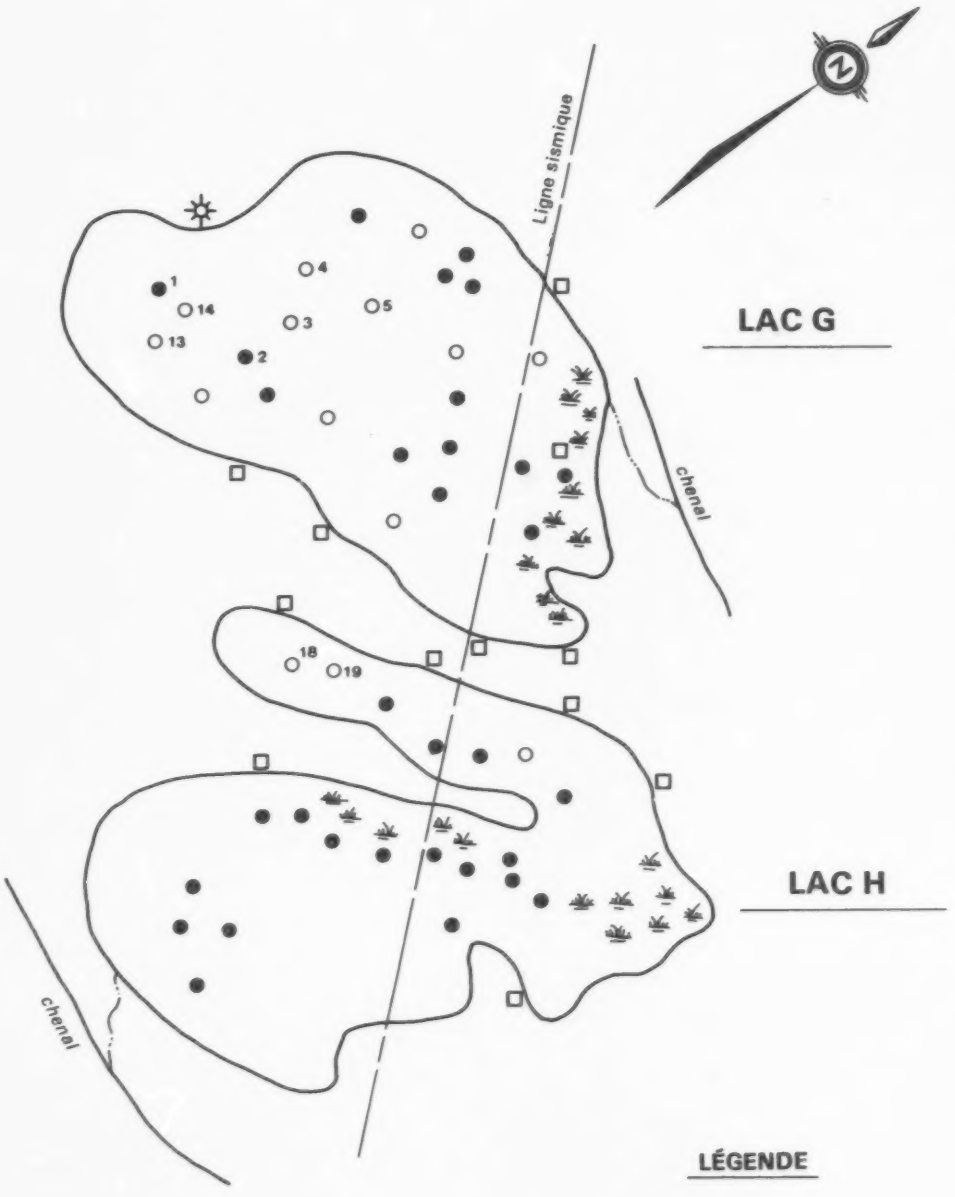
- ● *GRENIER ABANDONNÉ*
- ○ *GRENIER ACTIF*
- □ *TERRIER RIVERAIN ACTIF CONNU*

LES GRENIERS NUMÉROTÉS FIRENT L'OBJET D'UN PIÉGEAGE D'ANIMAUX VIVANTS

100 m 0 50 100 m

ÉCHELLE

FIGURE 14



LÉGENDE

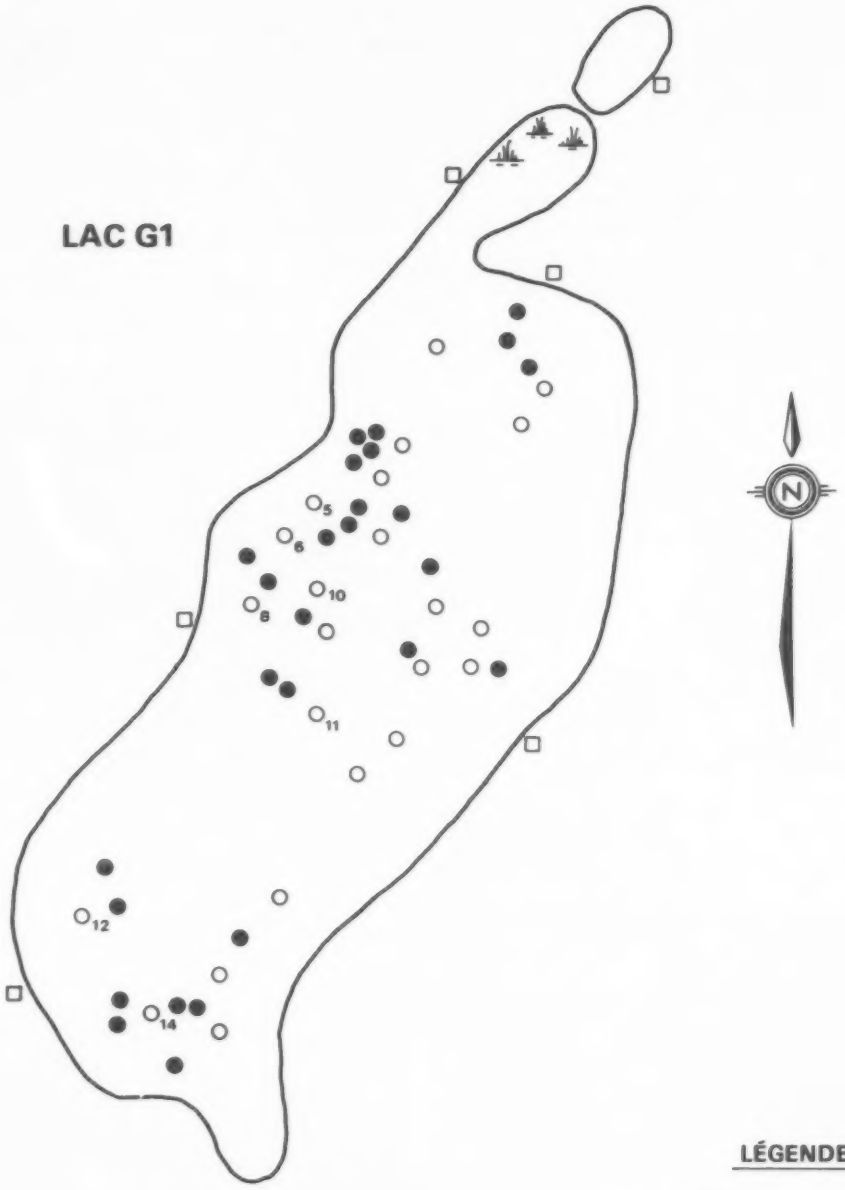
- ● *GRENIER ABANDONNÉ*
- ○ *GRENIER ACTIF*
- □ *TERRIER RIVERAIN ACTIF CONNU*
- ☼ *TROU DE MINE EXPÉRIMENTAL*

LES GRENIERS NUMÉROTÉS FIRENT L'OBJET D'UN PIÉGEAGE D'ANIMAUX VIVANTS

100 m 0 50 100 m

ÉCHELLE

FIGURE 15



LÉGENDE

- ● *GRENIER ABANDONNÉ*
- ○ *GRENIER ACTIF*
- □ *TERRIER RIVERAIN ACTIF CONNU*

LES GRENIERS NUMÉROTÉS FIRENT L'OBJET D'UN PIÉGEAGE D'ANIMAUX VIVANTS

100 m 0 50 100 m

ÉCHELLE

FIGURE 16